

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2004-127725

(43)Date of publication of application : 22.04.2004

---

(51)Int. Cl. H05B 33/24

H05B 33/14

---

(21)Application number : 2002- (71)Applicant : PIONEER ELECTRONIC  
290519 CORP

(22)Date of filing : 02.10.2002 (72)Inventor : FUKUDA YOSHINORI

---

(54) ORGANIC EL DISPLAY

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method of improving a strength for externally taking out organic EL light, when a technique is used which lowers a reflectance of a back surface and improves the visibility of a display, in an organic EL device to be utilized by taking out light at least on one side, and also to provide an organic EL display using the method.

SOLUTION: The EL display is provided with: an organic EL element wherein an organic material is held between at least two electrodes; a light emitting layer emitting light; a front reflecting part arranged on a viewer side, seen from the light emitting layer; and a back reflecting part arranged on an opposite side of the viewer, seen from the light emitting layer. The optical film thickness of the organic material, the strength reflectance R1 of the front reflecting part, and the strength reflectance R2 of the back reflecting part are adjusted so that the external light strength reflectance of the display, seen by the viewer, is made 10% or less by an optical interference effect.

---

LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 14.09.2005

[Date of sending the examiner's

decision of rejection]  
[Kind of final disposal of  
application other than the  
examiner's decision of rejection or  
application converted registration]  
[Date of final disposal for  
application]  
[Patent number]  
[Date of registration]  
[Number of appeal against  
examiner's decision of rejection]  
[Date of requesting appeal against  
examiner's decision of rejection]  
[Date of extinction of right]

---

## CLAIMS

---

[Claim(s)]

[Claim 1]

It is the organic electroluminescence display equipped with the organic EL device by which the organic substance was pinched with at least two electrodes,  
The luminous layer which emits light,  
The front reflective part arranged at the observer side, in view of said luminous layer,  
The organic electroluminescence display to which it has the tooth-back reflective part arranged the observer side in the opposite side, in view of said luminous layer, and the optical thickness of said organic substance, the reflection factor R1 of said front reflective part on the strength, and the reflection factor R2 of said tooth-back reflective part on the strength are characterized by being adjusted so that the outdoor daylight reflection factor of the display found from the observer on the strength may be made 10% or less according to the optical interference effectiveness.

[Claim 2]

The relation between said reflection factor R1 on the strength and said reflection factor R2 on the strength  
 $R1 \leq R2$

It comes out and is a certain organic electroluminescence display according to claim 1.

[Claim 3]

The relation between said reflection factor R1 on the strength and said reflection factor R2 on the strength

[Equation 1]



It is the organic electroluminescence display of \*\*\*\*\* claim 1 publication about \*\*\*\*\*.

[Claim 4]

Said reflection factor R1 on the strength and said reflection factor R2 on the strength are in abbreviation etc. by carrying out, and it is an organic electroluminescence display according to claim 1.

[Claim 5]

The organic electroluminescence display according to claim 1 currently adjusted to 5 - 50% so that said reflection factor R2 on the strength may reinforce EL Hikari external ejection effectiveness.

[Claim 6]

Claim 1 in which said front reflective part was formed by the base material, one or more transparency, or the translucent film thru/or any of 5 or the organic electroluminescence display of a publication.

[Claim 7]

Said transparency or translucent film is the organic electroluminescence display of claim 6 which contains either among said electrodes.

[Claim 8]

claim 1 said whose front reflective parts are the electrode of an organic EL device, and the interface of a base material thru/or 5 -- which organic electroluminescence display.

[Claim 9]

claim 1 said whose front reflective parts are the electrode of an organic EL device, and the interface of the penetrable film thru/or 5 -- the organic electroluminescence display of any or a publication.

[Claim 10]

claim 1 in which said front reflective part was formed by air, transparency, or the translucent film thru/or 5 -- the organic

electroluminescence display of any or a publication.

[Claim 11]

claim 1 said whose tooth-back reflective part is the electrode of an organic EL device thru/or 5 -- the organic electroluminescence display of any or a publication.

[Claim 12]

claim 1 in which said tooth-back reflective part is formed by two or more reflexivity or penetrable or semi-permeable film thru/or 5 -- the organic electroluminescence display of any or a publication.

[Claim 13]

Two or more of said reflexivity or penetrable or semi-permeable film are the organic electroluminescence display of claim 12 containing an organic electroluminescence electrode.

[Claim 14]

It is the organic electroluminescence display to which the first semi-permeable film, the second semi-permeable film, the reflexivity film, and \*\* have the low reflective low transmission laminating optical structure which the laminating was carried out and was constituted at order or a reverse order on a base material,

Said low reflective low transmission laminating optical structure is an organic electroluminescence display characterized by being an organic EL device.

[Claim 15]

It is the organic electroluminescence display according to claim 14 which said the first semi-permeable film and said reflexivity film are an electrode, and is characterized by said second semi-permeable film being an organic electroluminescence layer which has a luminous layer at least.

[Claim 16]

The low reflective low permeability structure which consists of two-layer at least,

It is the organic electroluminescence display equipped with the organic EL device with the structure where the organic electroluminescence layer which has at least a luminous layer and the transportation layer which conveys a charge to said luminous layer was \*\*\*\*(ed) by two electrodes, Said low reflective low transmission structure is an organic electroluminescence display characterized by including said transportation layer.

---

## DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention]

This invention relates to an organic electroluminescent element.

[0002]

[Description of the Prior Art]

An organic EL device usually consists of structure which pinched the organic substance layered product with the transparence electric conduction film and a metal electrode, and EL light which emitted light inside the component is taken out by the component exterior through a transparent electrode.

[0003]

As a back plate with which the optical ejection, i.e., observer, side was matched for the opposite side, the alloy of Mg and Ag, the alloy of aluminum and Li, etc. are used. Since these metals are reflexivity, they reflect strongly the outdoor daylight which carried out incidence from the outside. Therefore, the obtained display has the strong effect of the outdoor daylight reflected with the back plate, and becomes what saw from the observer and lacked in the mirror plane's visibility.

[0004]

In order to prevent this, it is the purpose which cuts reflection of outdoor daylight, and it is common to prepare an expensive circular polarization of light filter in the component exterior. However, an optical ejection electrode is difficult for preparing so that a component may be touched to the component exterior in a circular polarization of light filter with the so-called top emission structure allotted on [ instead of a substrate side ] the organic film.

[0005]

Moreover, when an optical ejection electrode is arranged on a substrate side and the substrate itself is made thin, the thickness of a circular polarization of light filter checks thin-shape-izing and lightweight-ization. Moreover, since the light transmittance of the circular polarization of light filter generally used is just over or below 40%, although the use effectiveness of organic electroluminescence light does not add a filter, it will become below one half.

[0006]

As other approaches of preventing the fall of visibility, the technique which makes the tooth back of a component nonreflective is known. As an

approach of realizing a nonreflective electrode, the technique of using the ingredient of absorptivity as an electrode is known. Moreover, patent No. 2529741 is indicating the approach of obtaining the device of a low reflection factor using optical interference by using a laminated structure as shown in drawing 4 as a back plate.

[0007]

In others, both electrodes are made permeability or semi-permeable, by arranging the film of nonreflective nature on the outside of one of electrodes, reflection with the back plate of outdoor daylight is pressed down, and the method of improving visibility is also.

[0008]

[Problem(s) to be Solved by the Invention]

With these components that made the reflection factor on the tooth back of a component low reflection thru/or nonreflective in order to raise visibility, without adding a circular polarization of light filter, decline in the external ejection effectiveness of a component is intense.

[0009]

Internal luminescence of an organic EL device is emitted by reinforcement equal to an omnidirection, as shown in drawing 1. For this reason, the light of reinforcement equal to the light emitted ahead is emitted also in the direction of a tooth back. The light actually taken out by the component exterior is emitted in front synchrotron orbital radiation and the direction of a tooth back, and serves as the electric-field amplitude composition sum with the light which is reflected with a back plate and returns ahead. Usually, the optical film pressure of a component laminated structure is optimized, and the multiple echo light reflected by a back plate and other reflectors is also effectively taken out as an external EL light so that the conditions which the phase contrast of the reflected light of front synchrotron orbital radiation and back radiation light suits in the slight strength of optical interference may be filled with an organic EL device.

[0010]

On the other hand, since EL light emitted to the tooth-back side is not taken out by the front face when a nonreflective electrode is used as a back plate, it is expected that the organic electroluminescence luminous intensity taken out outside becomes about  $1/2$ .

[0011]

However, when it experiments, the organic electroluminescence light reinforcement taken out outside will fall to  $1/4$  compared with the usual component with the component which arranged the nonreflective

electrode. This is EL efficiency for light utilization when usually adding a circular polarization of light filter to a component which is one half extent further.

[0012]

This invention offers the approach of improving the external ejection reinforcement of organic electroluminescence light when using the technique which reduces a reflection factor on the back and raises the visibility of a display, and the organic electroluminescence display using this, in the organic electroluminescence device which takes out and uses light for one side at least.

[0013]

[Means for Solving the Problem]

The luminous layer which the organic EL device of this invention according to claim 1 is the organic electroluminescence display equipped with the organic EL device by which the organic substance was pinched with at least two electrodes, and emits light, The front reflective part arranged at the observer side, in view of said luminous layer, and the tooth-back reflective part arranged the observer side in the opposite side, in view of said luminous layer, \*\*\*\*(ing) -- the optical thickness of said organic substance, and the reflection factor R1 of said front reflective part on the strength -- and The reflection factor R2 of said tooth-back reflective part on the strength is the organic electroluminescence display characterized by being adjusted so that the outdoor daylight reflection factor of the display found from the observer on the strength may be made 10% or less according to the optical interference effectiveness.

[0014]

[Embodiment of the Invention]

The invention-in-this-application person found out that are making nonreflective the back plate reflection factor of an organic EL device, and the component external ejection effectiveness of EL light becomes  $\frac{1}{4}$ , and that were leaving said back plate reflection factor effectively, and said ejection effectiveness was improved by experiment.

[0015]

moreover, the invention-in-this-application person did incidence from EL light in an organic EL device which emits light inside a component, and the component outside, it investigated about the outdoor daylight reflected light again reflected in the component exterior based on the optical interference model, and both found out resembling the reflection factor of two parts and permeability which sandwich the interior EL luminous layer of a component, and the optical path of the interior, and

being connected with them.

[0016]

Moreover, the invention-in-this-application person found out that the range of the reflection factor of two parts which improve said EL light ejection effectiveness and which sandwich said luminous layer, and permeability existed, having used that the formula showing said EL light ejection effectiveness differed from the formula showing said outdoor daylight reflection factor, and keeping said outdoor daylight reflection factor low.

[0017]

Hereafter, an organic electroluminescence display is explained to a detail, referring to a drawing.

[0018]

Drawing 1 is drawing showing the cross-section structure of the organic EL device in an organic electroluminescence display, and EL luminescence intensity distribution within an organic EL device. The organic EL device has the organic layer 4 pinched between the transparent electrode 2 as an anode plate allotted on the glass substrate 1, the back plate 3 as cathode, and a transparent electrode 2 and a back plate 3.

An observer 7 observes the EL light 8 emitted to the component exterior through a transparent electrode 2.

[0019]

After an organic layer 4 passes the transparent electrode 2 formed on the glass substrate 1 through required processes, such as patterning, within a vacuum tub, it carries out sequential heating vacuum evaporation, and produces two or more organic substance. On a transparent electrode 2, after making hundreds of several 10-nm hole transportation layer 4a deposit, similarly a luminous layer 5 is deposited, and electronic transportation layer 4b is deposited continuously. The function of these layers may have the function of plurality [ layer / one ]. Moreover, one function may consist of laminations of two or more ingredients. Although the above is the method of a producing-film method of a low-molecular system organic electroluminescence ingredient, sequential spreading of the solution may be carried out by the spin coat method, the ink jet method, etc. using a giant-molecule system organic electroluminescence ingredient etc. Membrane formation of a back plate 3 needs to make min the damage to the organic layer 4 formed previously in the final process of membrane formation, and carries out the heating vacuum evaporation of the metal in a vacuum in many cases.

[0020]



Thus, the organic EL device by which multilayer laminating membrane formation was carried out one by one is served like the semi-conductor light emitting diode of a pn junction mold. That is, when an electrical potential difference is impressed between a transparent electrode 2 and a back plate 3, a hole is poured in from the transparent electrode 2 which is an anode plate, and an electron is poured in from the back plate 3 which is cathode. The inside of hole transportation layer 4a is conveyed to a hole, and the inside of electronic transportation layer 4b is conveyed, both carriers recombine in the luminous layer 5 interior, the energy excites a luminous layer molecule, and an electron emits fluorescence or phosphorescence, in case an excited molecule returns to a ground state.

[0021]

In fact, according to the energy ranking difference of each interface of hole transportation layer 4a, a luminous layer 5, and electronic transportation layer 4b, it is concentrating on the interface, and with many components, carrier recombination concentrates by one of the interfaces of a luminous layer 5, and a carrier is generated. For this reason, becoming the distribution which decreases exponentially is known as are shown in drawing 1, and the luminescence reinforcement of EL light in the interior of a component shows a strong peak near the interface of a luminous layer 5 and it dies inside a luminous layer.

[0022]

Distance until the peak value of this reinforcement decreases to  $1/e$  is about 5-20nm, and it is thought that it concentrates near the interface and most points 6 emitting [ EL ] light are making the layer.

[0023]

Drawing 2 is drawing explaining the optical interference inside the component of the light emitted from the point 6 emitting [ internal ] light. EL light emitted from the point 6 emitting [ EL ] light is emitted also in the direction of a back plate by the reinforcement same isotropic as the light which did not polarize and is emitted in the direction of an observer 7. Every piece of the point 6 currently concentrated on the interface of a luminous layer 5 emitting light is completely emitting the non-correlated electromagnetic wave, respectively. Although it is hard to interfere in non-correlated electromagnetic waves, with the organic EL device, the strong interference phenomenon has occurred in the following reasons.

[0024]

Generally, the life time of fluorescence of an organic molecule is several nanoseconds. The distance spread to this time amount is dozens

of cm in a vacuum. Generally, since the distance between the back plates 3 of the point 6 emitting light to reflexivity is dozens - 100nm of numbers and the refractive index of the organic substance 4 is 1.6 to about two, the stroke distance of light reflected with the back plate 3 is shorter than coherence length enough.

[0025]

For this reason, when it is reflected with a back plate 3 and the light which one point 6 emitting light emitted back has returned to the point 6 emitting light again, the point 6 emitting light is still continuing emitting an electromagnetic wave with the reflected light and correlation. That is, each points of all emitting light cause an interference phenomenon by their own reflected wave, and the synthetic wave which piled these up is observed as an EL light. Therefore, EL light which emitted light inside is strongly optical influenced according to an autointerference phenomenon.

[0026]

Drawing 3 is drawing showing how to optimize organic EL device structure optically. The optical interference inside a component is used, and in order to enlarge light 8 taken out by the component exterior, the optical thickness of the layer of 4a [ which constitutes the organic substance 4 ], 5, and 4b is adjusted so that all the light waves shown in drawing 3 may become in phase.

[0027]

If it explains in detail, optical-path 10a of luminescence interface 5a and the tooth-back reflector 11 will be adjusted so that first back reflection light 9b may be set to first front synchrotron orbital radiation 9a of drawing 3 to an inphase. Namely, what is necessary is just to adjust optical-path 10a in the stroke of the round trip which first back reflection light 9b spreads, and 1 time of the reflective process in the tooth-back reflector 11, so that phase contrast may serve as an integral multiple of  $2\pi$ .

[0028]

Similarly, optical-path 10b of luminescence interface 5a and the front reflector 12 is adjusted so that first front reflected light 9c may be set to first front synchrotron orbital radiation 9a to an inphase. At this time, first front reflected light 9c is reflected first in the front reflector 12, and after being reflected continuously in the tooth-back reflector 11, it interferes with first front synchrotron orbital radiation 9a.

[0029]

Here, if optical-path 10a of luminescence interface 5a and the tooth-

back reflector 11 is adjusted as mentioned above, if first back radiation light 9e becomes an inphase, first front synchrotron orbital radiation 9a and first front reflected light 9c will become an inphase to 9d of front reflector reflected lights of the first front reflected light automatically. Namely, what is necessary is just to adjust optical-path 10b in 1 time of the reflective process in the stroke of the round trip to spread, and the front reflector 12 of 9d of front reflector reflected lights of the first front reflected light, so that phase contrast may serve as an integral multiple of  $2\pi$ .

[0030]

Thus, with the component which adjusted optical paths 10a and 10b, all the interior light of a component described at drawing 3 will be in phase, and will be reinforced. The process of impregnation of a carrier, transportation, and recombination does not change with the thickness of the layer which constitutes a component based on the luminescence principle of a component, but it can be said that luminescence intensity distribution and luminescence reinforcement inside a component are saved. That is, even if it adjusts such optical thickness, it can be said that the luminescence reinforcement inside the component when passing the same current is always the same.

[0031]

The organic electroluminescence display of this operation gestalt is adjusted so that the optical thickness of an organic layer 4, the reflection factor R1 of the part in which the light located in a watcher side rather than a luminous layer 5 is reflected on the strength [ optical ], and the reflection factor R2 of the part in which the light located in a back side from the viewpoint of a watcher rather than a luminous layer 5 is reflected on the strength [ optical ] may make the outdoor daylight reflection factor of the organic electroluminescence display seen from the observer on the strength 10% or less according to the optical interference effectiveness. The reason is explained below.

[0032]

The invention-in-this-application person tried the experiment which uses a back plate 3 as the nonreflective film in drawing 1. The nonreflective electrode with which this used [ patent / No. 2529741 ] optical interference using the approach of a publication is obtained.

[0033]

(Example 1)

The technique shown by patent No. 2529741 is as follows. Like drawing 4, it is on a glass substrate 13. The structure whose second transfective layer 15 was pinched by the first transfective layer 14 and the high

reflecting layer 16 is produced.

[0034]

At this time, it can consider as a nonreflective laminated structure by adjusting the reflection factor of the first transfective layer 14 and permeability, the thickness of the second transfective layer 15, and the reflection factor of the high reflecting layer 16 so that high reflecting layer reflected light 18b may deny each other first transfective layer reflected light 18a. It is good for the second transfective layer 15 to have the optical thickness of  $\frac{1}{4}\lambda$  of the target wavelength in the case of being easy.

[0035]

For example, the first transfective layer 14 and the high reflecting layer 16 are realizable with a metal aluminum thin film. Moreover, the second transfective layer 15 can be made from the vacuum evaporatio film of the translucent organic substance. Moreover, the common aluminum quinolinol complex (Alq3) as an organic electroluminescence ingredient can be chosen as the second transfective layer. The refractive index of Alq3 can be measured for example, by the ellipsometry method etc., and is 1.76 in the wavelength of 525nm.

[0036]

When a membranous refractive index is set to  $n$  and thickness is set to  $d$ , the optical thickness is given by  $nd$  and, in the case of Alq3 film,  $d$  used as  $\frac{1}{4}[\lambda = 525\text{nm}]$  is called for as follows.

[0037]

$$n \cdot d = 525/4 = 131.25$$

$$\text{therefore } d = 74.6 \text{ nm}$$

[0038]

Although 80nm vacuum heating vacuum evaporatio of Alq3 was actually continuously carried out the vacuum heating vacuum evaporatio of the aluminum very thin as the first transfective layer 14 and carried out as the second transfective layer 15 on the glass substrate 13 and 100nm vacuum deposition of the aluminum was carried out to the last as a high reflecting layer 16, if a reflection factor is measured from a glass side, it becomes like drawing 5 and the reflection factor can be reduced in at least 1% by optical interference.

[0039]

Furthermore, as shown in drawing 5, the minimum reflection factor can be adjusted by adjusting the thickness of three layer of Alq(s) used as the second transfective layer 15. Adjustment of this reflection factor can also be performed by changing the thickness of aluminum with the thin first transfective layer.

[0040]

Next, the nonreflective laminated structure obtained by doing in this way was used as cathode of an organic EL device. Patterning of the transparent electrode formed on soda lime glass was carried out, and the organic EL device was produced on it. It is a copper phthalocyanine as a hole impregnation layer. Considering 25nm as a hole transportation layer, it is alpha-NPD. Alq3 60nm was vapor-deposited for 45nm in the vacuum one by one as a luminous layer. The thickness of each class performed the optimum design shown by drawing 3, and chose the combination from which external EL light reinforcement serves as max by experiment. Then, as electron injection add-in material, after carrying out 0.3nm laminating of the Li2O, the above mentioned thin aluminum and the organic EL device which vapor-deposits 80nm and high reflective aluminum for Alq3, and has a nonreflective laminated structure were created.

[0041]

(Example 2)

It is a copper phthalocyanine on the soda lime glass with ITO same in order to make it contrast with the above-mentioned organic EL device. 25nm, alpha-NPD 45nm and Alq3 60nm were vapor-deposited in the vacuum one by one, and after that, as electron injection add-in material, after carrying out 0.3nm laminating of the Li2O, the organic EL device which does not have the nonreflective laminated structure which vapor-deposited 100nm of aluminum was produced.

[0042]

Drawing 6 is a graph which shows the voltage-current property of the organic EL device of Example 1 which has a nonreflective laminated structure, and the organic EL device of Example 2 which does not have a nonreflective laminated structure. Drawing 6 shows that the voltage-current property of both components is almost the same. In both components, organic diode is functioning equally, and it can be considered that this is [ the internal luminescence reinforcement of the component to the same current ] equal.

[0043]

On the other hand, drawing 7 is the graph which showed the current-brightness property of Example 1 and Example 2. According to drawing 7, in a current-brightness property, the current brightness effectiveness of Example 1 is  $\frac{1}{4}$  of the current brightness effectiveness of Example 2 in all current fields.

[0044]

As stated until now, in Example 2, it is designed using reflection and an interference phenomenon so that back radiation light may reinforce a

front light. On the other hand, in Example 1, since it is lost that back reflection light is reflected ahead, it is expected that EL light reinforcement taken out becomes  $\frac{1}{2}$ . However, when easy model count is performed, it is shown that the reinforcement becomes  $\frac{1}{4}$  instead of  $\frac{1}{2}$ .

[0045]

This is explained by the interference model in the interior of the organic EL device shown below. First, by the optical interference phenomenon, although it must analyze in consideration of the incident angle of light, in the case of vertical incidence, it limits here. Although a phase, reflectivity, etc. change with angles of incidence when an angle of incidence is not perpendicular, vertical incidence may be thought as important and considered as a display. Moreover, by the argument by vertical incidence, since it is not necessary to distinguish polarization, it ignores henceforth and polarization of light is also considered that EL synchrotron orbital radiation did not polarize.

[0046]

Next, by multiplex interference of the optical film, although attenuation by the delay of a phase and absorption in the multiple echo and propagation must be considered, since all the light penetrate outside from the interior of a component be good noting that they be in phases if the component be optimized so that all the reflected lights may be made in phase like Example 1, it omits and argues about the term of a phase.

[0047]

Moreover, when arguing about such optical interference quantitatively, after considering all the superposition as an electromagnetic wave, the square of the absolute value must be considered as luminous intensity at the last. That is, the luminous intensity generally measured, a reflection factor, permeability, etc. are the square of the electric-field amplitude of a light wave. In fact, although an electromagnetic wave is expressed with complex and the square of the absolute value serves as optical reinforcement, in order to simplify an argument, it goes ahead with the talk in a real number field. Generality is not lost even if such.

[0048]

The formula of Fresnel about reflection / refraction phenomenon is shown in principle I" (M. Born, E. WOLF work, 1974, Tokai University publication) p.61-73 of "optics.

For example, when the reflection factor R of a certain reflector is surveyed, the value is the reflection factor of luminous intensity, and has the following relation with the electric-field amplitude reflectance

r.

[0049]

$$R = |r|^2 \dots (1)$$

$$\text{thereforer} = \text{root}(|R|) \dots (2)$$

[0050]

This relation is materialized similarly also at the time of a complex reflection factor. Suppose that a luminous-intensity reflection factor and transmission on the strength are expressed with the capital letter alphabet like R and T, respectively, and an electric-field amplitude reflectance and an electric-field amplitude transmittance are expressed with the small letter alphabet like r and t in the following arguments.

[0051]

Electric-field amplitude reflectance r which the light which was perpendicular to the medium of a refractive index  $n_2$ , and carried out incidence from the medium of a refractive index  $n_1$  as it was in "the principle I of optics" senses The electric-field amplitude transmittance t is expressed as follows.

[0052]

$$r = \frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \dots (3)$$

$$t = 2n_1 / (n_2 + n_1) \dots (4)$$

[0053]

It is electric-field amplitude-reflectance  $r'$  about the case where incidence is carried out to the medium of  $n_1$  from the medium of a refractive index  $n_2$  contrary to this about the same medium, "" will be attached and expressed with a right shoulder like electric-field amplitude-transmittance  $t'$ .  $r'$  and  $t'$  are expressed as follows.

[0054]

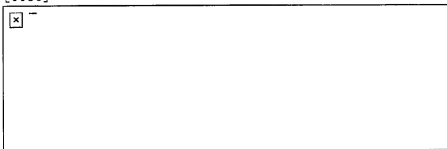
$$r' = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} = -r \dots (5)$$

$$t' = 2n_2 / (n_1 + n_2) \dots (6)$$

[0055]

This field strength reflection factor R to solve,  $R'$  and the field strength permeability T, and  $T'$  are expressed as follows.

[0056]



[0057]

Moreover, the following relation is also drawn.

[0058]

$$r + t = 1$$

$$r^2 + t^2 = 1$$

[0059]

The optical model of organic electroluminescence is explained on the assumption that the above.

Drawing 8 is the mimetic diagram of the optical model of an organic electroluminescence display. All organic electroluminescence devices can be regarded like drawing 8, if simplified optically.

[0060]

Drawing 3 can be called case of drawing 8 of being special. By drawing 3, the reflection factor  $r_2$  of the tooth-back reflector 11 is so high that it may be set to  $r_2 \approx 1$ , and the example which is reflection factor  $r_1 \ll 1$  of the front reflector 12 is shown. The reinforcement of the reflected light by which reflection in the front reflector 12 was repeated twice or more was very small, and since it was like [ which can be disregarded ], it should just have considered four light wave 9a inside a component, 9b, 9c, and 9d.

[0061]

Drawing 9 is drawing showing the electric-field amplitude of the light taken out in the multiple echo and the component exterior of the light emitted from the interior of a component in the configuration of drawing 8. The electric-field amplitude of internal luminescence is set to  $E$ , and the electric-field amplitude of each light wave is filled in.

[0062]

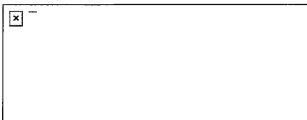
The ratio of the synthetic wave amplitude of the light wave taken out by these exteriors and the electric-field amplitude  $E$  of internal luminescence is made to call it EL light ejection composition electric-field amplitude transmittance  $mEL$ .

Since it is adjusted so that all external ejection light may already become in phase,  $mEL$  of the light wave taken out at an observer 7 side is expressed as follows that what is necessary is just to carry out a guide peg as it is.

[0063]

[Equation 2]





... (9)

[0064]

Here,  $0 \leq |r_1 r_2| \leq 1$  and the following formulas were used from  $0 \leq |r_1| \leq 1$  and  $0 \leq |r_2| \leq 1$ .

[0065]

[Equation 3]



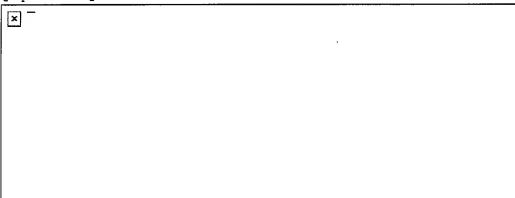
( $0 < p < 1$ ) ... (10)

[0066]

Similarly, the light wave taken out by the exterior of the opposite side is as follows in an observer 7.

[0067]

[Equation 4]



... (11)

[0068]

Next, drawing 10 is the mimetic diagram of the multiplex interference phenomenon in the organic EL device about incidence outdoor daylight 22a.

The light by the side of an observer 7 is divided into 1st reflected light 22b and the interior of a component by the synthetic light 23 of transparency and the light which comes out to the component exterior while carrying out incidence and repeating a multiple echo. With the component adjusted so that all the multiple echo light of EL light which emitted light from the interior might become an inphase, the synthetic light 23 serves as an inphase altogether automatically.

[0069]

On the other hand, the sign of the reflection factor  $r_1'$  reverses 1st reflected light 22b the size relation of the refractive index of an incidence side / transparency side medium in a formula of said fresnel. This is equivalent to a phase shifting only  $\pi$ . Incident light 22a and transmitted light 22c are always in phase.

[0070]

Drawing 11 (a) and (b) are drawings showing the phase reversal situation of light. When a phase is reversed - 1, The time in phase is described as 1.  $r$  Since it is  $-r'$ , when the reflection accompanied by phase inversion arises in a certain direction of incidence, don't reverse a phase by the incidence of the hard flow.

[0071]

Drawing 11 (a) shows the case where a phase is reversed by the first reflection of outdoor daylight. At this time, the light inside a component serves as reflection in phase by the front reflective part 20. That is, the light which goes back and forth between the front reflective part 20 and the tooth-back reflective parts 19 one time is adjusted so that it may have the phase contrast of  $2m\pi$  ( $m$  is the natural number) by propagation and reflection. This adjustment is optimizing the above mentioned component and consent, and is automatically adjusted in this way with the component optimized so that EL light might be reinforced.

[0072]

Drawing 11 (b) shows the case where a phase is not reversed by the first reflection of outdoor daylight. At this time, the light inside a component serves as phase inversion reflection by the front reflective part 20. That is, the light which goes back and forth between the front reflective part 20 and the tooth-back reflective parts 19 one time is adjusted so that it may have the phase contrast of  $2(m-1)\pi$  ( $m$  is the natural number) by propagation and reflection. This adjustment is optimizing the above mentioned component and consent, and is automatically adjusted in this way with the component optimized so that EL light might be reinforced.

[0073]

Thus, in the optimized EL element, first reflected light 22b and the transparency composition light 23 in drawing 10 serve as opposition by any cases. Here, the synthetic amplitude of the transparency composition light 23 is expressed as follows.

[0074]

$$t1t1'r2(1+r1r2+(r1r2)^2+\dots) = t1t1'r2/(1-r1r2) \dots (12)$$

[0075]

Outdoor daylight composition amplitude-reflectance m outdoor daylight is expressed as follows in the multiplier which expresses from this the ratio of the electric-field amplitude of all the synthetic waves in drawing 10, and the electric-field amplitude A of outdoor daylight 22a which carried out incidence.

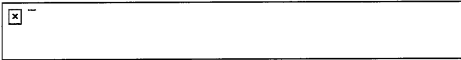
[0076]

$$m \text{ outdoor daylight} = |r1'| \cdot |t1'r2/(1-r1r2)| \dots (13)$$

[0077]

Here, if  $t1t1' = T \cdot 1 = 1 - r1r2$ ,  $|r1'| = |r1|$  is used, a formula (13) will be rewritten as follows.

[0078]



[0079]

The above is the general optical model analysis of an organic EL device. When it collects, the incidence outdoor daylight Aref which reflects the electric-field amplitude of E and incidence outdoor daylight in the electric-field amplitude Eout and the exterior of EL light taken out outside when the electric-field amplitude of internal EL light is set to A using the reflection factor r2 of the reflection factor r1 of a front reflective part, r1' and permeability t1, t1', and a tooth-back reflective part is expressed as follows.

[0080]

[Equation 5]



... (15)

[0081]

[Equation 6]



... (16)

[0082]

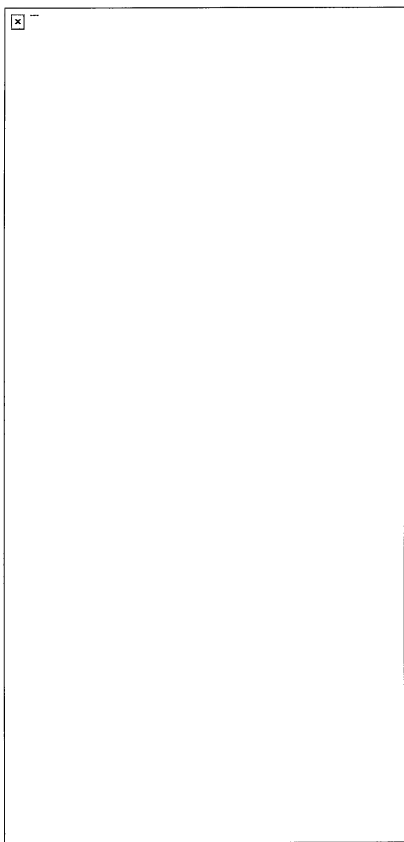
The optical reinforcement IOUT and IREF at this time is the square of the absolute value of EOUT and AREF, respectively. Especially the conditions used as A REF=0 are  $r_1 = r_2$ .

[0083]

About a formula (15), it is about the intensity ratio  $MEL = IOUT/E2$ .  $r_1$  and  $r_2$  show in the following table 1, as a result of calculating about the range of 0-0.95, respectively. Table 1 shows that the reflection factor MEL of the column located on the diagonal line which fills  $r_1 = r_2$  on the strength is 1.00.

[0084]

[Table 1]

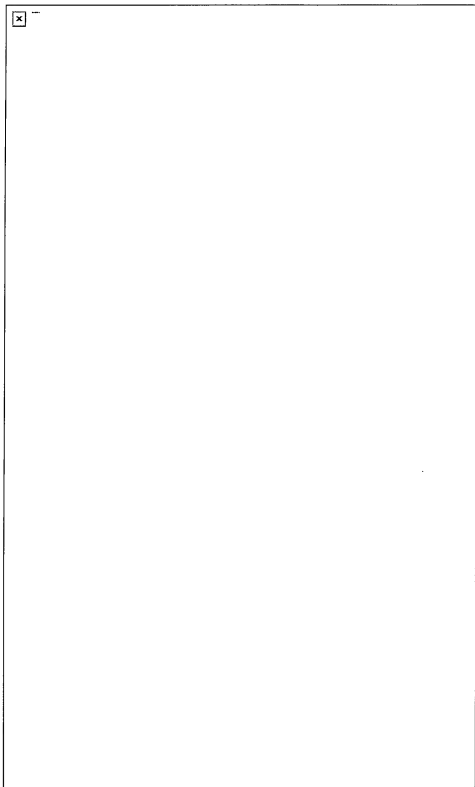


[0085]

Moreover, it is about M outdoor daylight = IREF/A2 similarly about (a formula 16). r1 and r2 show the result calculated about the range of 0-0.95, respectively in Table 2. Table 2 shows that the on-the-strength reflection factor M outdoor daylight of a column located on the diagonal line which fills r1=r2 is 0.

[0086]

[Table 2]



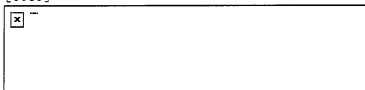
[0087]

This result is applied to Example 1 and Example 2. In Example 2, the front reflective part reflection factor  $r_1$  can be estimated as follows. In Example 2, the organic substance / ITO / glass interface can turn into a strong reflector by the side of the front, its refractive-index difference of ITO/glass is especially large, and since the refractive-index difference of the organic substance / ITO interface is small, it is good considering ITO / glass interface as a front reflective part. This can be said to be the right in the component which makes EL light ejection effectiveness max also from being obtained, when it adjusts so that the distance of this interface and luminous layer may suit in slight strength optically being checked experimentally.

[0088]

ITO (refractive index  $n = 1.93$ ) and glass (refractive index  $n = 1.52$ ) The electric-field amplitude reflectance  $r_1$  in an interface is as follows.

[0089]



[0090]

Moreover, since it is reflection / transparency phenomenon without absorption, it is good as  $t_1 = 1 - r_1$ .

[0091]

A tooth-back reflective part is an interface of aluminum and the organic substance which is a metal electrode. Since the electric-field amplitude reflectance of an Alq/aluminum interface is 92.5%, when  $= (r_1, r_2)$  (0.119 0.925) is substituted and squared at (a ceremony 9), the ejection multiplier MEL of the EL reinforcement is as follows.

[0092]

$$MEL = (mEL)^2 = 1.9062 = 3.63 \dots (18)$$

[0093]

Next, it calculates similarly about Example 1. Since nonreflective-ization of a back plate is made, it is as follows when MEL is calculated as  $= (r_1, r_2)$  (0.119 0).

[0094]

$$MEL = (mEL)^2 = 0.8892 = 0.78 \dots (19)$$

[0095]

From drawing 7, although the brightness of Example 1 is 0.23 times the brightness of Example 2, this suits to the count result 0.78 of the



ratio of the ejection multiplier MEL / 3.63= 0.21 well.

[0096]

(Example 3)

As Example 3, the thickness of three layer of Alq(s) which are the second transparency layer of a nonreflective electrode was adjusted, and the surveyed reflection factor  $R=0.12$  on the strength, i.e., the organic EL device which used as the electrode what set to  $r2=(0.12) \cdot 1 / 2=0.346$ , was produced like Example 1. The external EL light reinforcement in the same current at this time was 154 cd/m<sup>2</sup>, and the brightness ratio with Example 2 was 0.48.

[0097]

When = (r1, r2) (0.119 0.346) is substituted and squared at a ceremony (9), the ejection multiplier MEL of the EL reinforcement is as follows.


[0098]

$MEL=(mEL)^2=1.2372=1.531$

From this, the ratio with the calculated value in Example 2 is set to  $1.531 / 3.63=0.422$ , and suits the actual brightness ratio 0.48 well. From Example 1 to the example 3 is put in order and shown in Table 3. In each example, it turns out that calculated value and an actual measurement are in agreement good.

[0099]

[Table 3]


---

[0100]

(Example 4-5)

The nonreflective layered product of the conditions same as Example 4 as having produced in Example 3 was produced on a different base material, and the reflection factor was investigated. Here, the thing of glass / nonreflective layered product was produced as Example 4, the thing of glass / ITO / nonreflective layered product was produced as Example 5, and the reflection factor on the strength was measured.

[0101]

The reflection factor of Example 5 on the strength was about 10%. this - the amplitude reflectance (0.1) of this nonreflective layered product -- it is estimated as  $1 / 2 = 0.316$ . On the other hand, the reflection factor of Example 4 on the strength was about 5%. When the outdoor daylight reflection factor in Example 4 is calculated at a ceremony (14) based on Example 5 by substituting  $(r_1, r_2)$   $(0.119, 1, (0.1)/2) = (0.119, 0.316)$ , it is M outdoor daylight. It becomes  $= 2$  (m outdoor daylight) = 4.19%, and about 5% of actual measurements is suited well.

[0102]

in an organic EL device, it becomes nonreflective from Table 2 to outdoor daylight -- as  $(r_1, r_2)$  --  $r_1 =$  -- it is at the time of  $r_2$  and is set to ejection multiplier MEL=1 of EL light from Table 1 by  $r_1 = r_2$ .

[0103]

Here, when it considers as  $(r_1, r_2)$   $(0.1, 0.35)$ , they are MEL=1.59 and M outdoor daylight =6.7%. MEL=0.81 at the time of considering as  $(0.1, 0)$ , M outdoor daylight =  $(r_1, r_2)$  It turns out that EL effectiveness is improved 1.96 times compared with 1.0%.

[0104]

(Example 6)

The thickness of the thin aluminum layer which is the first transparency layer of a nonreflective electrode was adjusted like Example 4, and two or more organic EL devices which used as the electrode what changed the reflection factor on the strength were produced like Example 1.

[0105]

The count curve by the distribution and the formula (9) of brightness effectiveness of these components is shown in drawing 12. Thus, in various  $R_2=(r_2)^2$ , EL reinforcement of an actual component suits well in count by the formula (9).

[0106]

Moreover, drawing 12 shows brightness being large to about 1.79 times from about 70 cd/m<sup>2</sup> to 125 cd/m<sup>2</sup>, and going up, when a tooth-back reflection factor on the strength increases to 0 to 10%. That is, the component effectiveness of an organic EL device is improving about twice. Thus, even when it is small, when a reflection factor on the strength

increases compared with the case where a tooth-back reflection factor is 0, it turns out that component effectiveness improves sharply.

[0107]

Here, the case where residual reflection remains slightly with the case in the case of outdoor daylight areflexia is compared from Table 1 and 2. in an organic EL device, it becomes nonreflective from Table 2 to outdoor daylight -- as (r1, r2) -- it is at the time of  $r1=r2$ . By  $r1=r2$ , the ejection multiplier of EL light is set to MEL=1 from Table 1.

[0108]

Here, when it considers as = (r1, r2) (0. 1 0.35) (those with residual reflective), they are MEL=1.59 and M outdoor daylight =6.7%. MEL=0.81 at the time of considering as = (0. 1 0), M outdoor daylight = (r1, r2) Compared with 1.0%, the ejection effectiveness of EL light is improved 1.96 times. This shows that the ejection effectiveness of EL light is improved sharply, when residual reflection remains slightly compared with the case of outdoor daylight areflexia.

[0109]

It is good to be adjusted so that the reflection factor R2 of a tooth-back reflective part on the strength may make here the outdoor daylight on-the-strength reflection factor M outdoor daylight of the display found from the observer 10% or less according to the optical interference effectiveness, and it good to adjust said reflection factor R2 on the strength to 5 - 50% preferably, so that EL Hikari external ejection effectiveness may be reinforced. If the outdoor daylight on-the-strength reflection factor M outdoor daylight of the display found from the observer becomes larger than 10%, the contribution with bigger increase of the reflection factor of outdoor daylight reinforcement than increase of the ejection effectiveness of organic electroluminescence light will be achieved, and the visibility of a display will get worse.

[0110]

The numeric value of the field near [ which can be lengthened from the upper left corner of Table 2 as a combination with which as (r1, r2) fills the outdoor daylight on-the-strength reflection factor M outdoor daylight of the display found from this observer, being able to apply to a lower right corner ] the diagonal line serves as 10% or less of outdoor daylight on-the-strength reflection factor M outdoor daylight. This field is expressed by the following relational expression from a formula (16).

[0111]

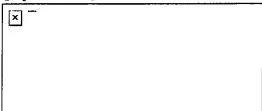
[Equation 7]



... (20)

[0112]

[Equation 8]



... (21)

[0113]

In the numeric value of this field, if it chooses so that it may refer to Table 1 and EL luminous-intensity permeability MEL may be raised, it will become possible to obtain the display which stopped the reflection factor of outdoor daylight reinforcement, and raised the luminescence reinforcement of EL light. What is necessary is just to choose the parameter which serves as 10% or less of outdoor daylight on-the-strength reflection factor M outdoor daylight among the parameters preferably located in the lower left side of the diagonal line which can be drawn from the upper left corner of Table 1, being able to apply to a lower right corner. This field is expressed by the following relational expression from Table 1.

[0114]

$r1 \leq r2$  ... (22)

$R1 \leq R2$  ... (23)

[0115]

When the above is summarized, it is desirable to adjust a display so that it may be 10% or less of outdoor daylight on-the-strength reflection factor M outdoor daylight and may be parameter  $r1 \leq r2$ , namely, so that it may be set to  $R1 \leq R2$ . With such a display, it becomes possible to obtain the display which stopped the reflection factor of outdoor daylight reinforcement, and raised the luminescence

reinforcement of EL light. Moreover, where the current which flows to an organic layer is low-current-ized by the above-mentioned configuration, it becomes possible to raise the luminescence reinforcement of an organic electroluminescence display.

[0116]

(The 1st operation gestalt)

Hereafter, the 1st operation gestalt concerning this invention is explained, referring to drawing 13.

[0117]

Drawing 13 is drawing showing the organic EL device 30 of the 1st operation gestalt concerning this invention. An organic EL device 30 has the back plate 33 by which the laminating was carried out following the glass substrate 31, the transparent electrode 32 arranged on a glass substrate 31, the organic layer 34 which are two or more layered products by which the laminating was carried out one by one on the transparent electrode 32, and the organic layer 34. By carrying out the seal of approval of the electrical potential difference between a transparent electrode 32 and a back plate 33, the carrier of positive/negative is poured in into a component, and electroluminescence occurs in the organic layer 34 interior by this recombination. 35 is the organic layer 34 interior, in case the excited organic molecule returns to a ground state, it is a source of luminescence to which light is emitted, and it is the size of 1 molecule extent. The source 35 of luminescence is innumerably distributed in the shape of a layer. The emitted luminescence light is emitted in the direction of an observer 36 through a transparent electrode 32 and a substrate 31 by the multiple echo inside direct or a component from the source 35 of these countless luminescence.

[0118]

With this operation gestalt, the optical path of a back plate 33, the interface of an organic layer 34, an optical path with the luminescence on-the-strength peak location of the source 35 of luminescence, and a transparent electrode 32 and the interface of a substrate 31, and the luminescence on-the-strength peak location of the source 35 of luminescence is chosen so that all the multiple echo light inside a component may be suited in slight strength.

[0119]

The indium stannic acid ghost (ITO) is used as a transparent electrode 32. The electric conduction film with others transparent to a transparent electrode 32 is sufficient.

[0120]

Electric-field amplitude reflectance  $r_1$  in the interface which a transparent electrode 32 and a glass substrate 31 make It is estimated as 0.119. Moreover, the electric-field amplitude reflectance in the interface which a transparent electrode 32 and an organic layer 34 make is 0.043, and since it is small compared with 0.119, it is disregarded. The electric-field amplitude reflectance  $r_2$  between an organic layer 28 and a back plate 27 is 0.346 here. If MEL and M outdoor daylight in this case are calculated, it will become 1.531 or 3.63%, respectively. Since MEL is about 0.8 when  $r_2$  is 0, the brightness of EL luminescence reinforcement will rise by about about 2 times. In this operation gestalt, in order to raise MEL, it becomes more possible than Tables 1 and 2 with [ are  $r_1 < r_2$  and /  $r_2$  ] 0.4 [ or less ] to consider as the component of 10% or less of outdoor daylight on-the-strength reflection factor M outdoor daylight.

[0121]

In this operation gestalt, when being set especially to about 0 10% or less by adjusting outdoor daylight on-the-strength reflection factor M outdoor daylight, the organic EL device itself means becoming a nonreflective object with nonreflective structure. Thus, with this operation gestalt, it regarded as the reflector established in the watcher side rather than the luminous layer from the watcher side, and low reflective structure and nonreflective structure are realized rather than the luminous layer using the reflector formed in the back.

[0122]

(The 2nd operation gestalt)

Although the 1st operation gestalt was an example in the case of taking out EL light in the direction of a substrate, with a substrate, the above-mentioned consideration result is applied as it is also about the so-called top emission mold organic EL device which takes out EL light in the direction of the opposite side. Drawing 14 is drawing showing a top emission mold organic EL device. Hereafter, it explains in detail, referring to drawing 14 .

[0123]

An organic EL device 40 has the transparent electrode 43 by which the laminating was carried out following the substrate 41, the back plate 42 arranged on a substrate 41, the organic layer 44 which are two or more layered products by which the laminating was carried out one by one on the back plate 42, and the organic layer 44. A transparent electrode 43 may consist of layered products of a penetrable metal and a conductive oxide film. As a transparent electrode 43, ITO by which spatter membrane formation was carried out was used.

[0124]

r1 when taking out EL light from a transparent electrode 43 to air here is expressed as follows.

[0125]

$$r1 = \frac{n_{ITO} - n_{air}}{n_{ITO} + n_{air}}$$

$$= \frac{1.93 - 1.0}{1.93 + 1.0}$$

$$= 0.317$$

[0126]

At this time, the relation between the electrolysis amplitude reflectance r2 in a tooth-back (substrate side) electrode, the reflection factor R2 on the strength, outdoor daylight on-the-strength reflection factor M outdoor daylight, and EL light on-the-strength ejection multiplier MEL is shown in Table 4.

[0127]

[Table 4]

<div><div><div><div><span></span></div></div><div><div><span></span></div></div></div><div><div><span></span></div></div><div><div><span></span></div></div></div>
--

[0128]

The conditions which make 10% the on-the-strength reflection factor M outdoor daylight of outdoor daylight are acquired by taking care about the sign of an absolute value and solving (a formula 14), and correspond to R2=0% and 33.1%. At this time, EL light on-the-strength ejection multiplier can be set to 1.73 by applying the conditions according to claim 2 which become  $R1 \leq R2$ . This is 4.25 times [ in on-the-strength reflection factor  $R2=0$  ] the back plate.

[0129]

(Modification)

In a top emission mold organic electroluminescence device, a back plate may consist of the laminating structures of the transparence electric

conduction film and low reflective film like drawing 15 .  
Namely, what is necessary is just to consider the reflection factor of this field to be an ejection side as  $r_2$  in the so-called transparency mold organic EL device which made both electrodes permeability, also when the film of absorptivity is applied to the tooth back of the opposite side.

[0130]

Moreover, in a top emission mold organic electroluminescence device, an optical ejection electrode may consist of the laminating structures of the penetrable electric conduction film and the anti-permeability film like drawing 16 and drawing 17 . When absorption of energy is made into zero, but, a formula (14) can prepare an absorption layer in an interface further, and can also adjust  $t_1$  independently [  $r_1$  ] in the 1st reflector seen from outdoor daylight.

[0131]

As a device gestalt similar to Example 1, a back plate may consist of the laminating structures of the penetrable electric conduction film and low reflective film like drawing 18 .

[0132]

Moreover, what is necessary is to define a synthetic light of the reflected light from all reflectors located in a tooth back or a front face as the reflected light in the location of the source of EL luminescence, and just to define change of the electric-field amplitude at that time as  $r_1$  or  $r_2$  like drawing 19 , when two or more reflectors exist in a tooth back or a front face.

[0133]

Moreover, as shown in drawing 20 (a), a nonreflective object (low reflective low permeability laminating optical structure) may be the structure which is the organic EL device itself. In drawing 20 , the transparent electrode 51 which is the semi-permeable film is arranged on the base material. On the transparent electrode 51, the laminating of the semi-permeable organic electroluminescence layer 52 which has a luminous layer at least is carried out. And the reflexible back plate 53 is arranged on the organic electroluminescence layer 52.

[0134]

In this configuration, a transparent electrode 51, the organic electroluminescence layer 52, and a back plate 53 are the nonreflective objects adjusted so that the extraneous light which carried out incidence from the base material side might be negated by optical interference with the reflected light in the interface between each class and it might suit. In such an organic EL device,  $r_1$  and  $r_2$  may be



adjusted so that outdoor daylight on-the-strength reflection factor M outdoor daylight may be made 10% or less.

[0135]

Of course, the above-mentioned structure is using as a reflexible back plate the electrode 51 arranged on a base material, and using an electrode 53 as a semi-permeable transparent electrode, and can be applied also to the organic EL device of the so-called top emission type of structure.

[0136]

Thus, since it is not necessary to install a semi-permeable optical member and the semi-permeable optical reflective film separately by constituting the organic EL device itself as a nonreflective object, it becomes possible to thin-film-size an organic EL device. Moreover, since it is not necessary to prepare other members, the step on manufacture is simplified and manufacture effectiveness improves.

[0137]

Moreover, as shown in drawing 20 (b), the end of a nonreflective object may be made to consist of some organic EL devices for a nonreflective object (low reflective low permeability laminating optical structure) including some organic EL devices. In drawing 20 (b), the transparent electrode 61 which is the penetrable film is arranged on the base material. On the transparent electrode 61, the laminating of the penetrable organic electroluminescence layer 62 which has a luminous layer at least is carried out. And in the organic electroluminescence layer 62, it has charge transportability and the semi-permeable optical reflective film 63 is inserted. The back plate 64 is arranged on the organic electroluminescence layer 62.

[0138]

In this configuration, the optical reflective film 63 and a back plate 64 are the nonreflective objects adjusted so that the extraneous light which carried out incidence from the base material side might be negated by optical interference with the reflected light in the interface between each class and it might suit. In this structure, since the reflected light in the interface between a base material and a transparent electrode 61 and the reflected light in the interface between a transparent electrode 61 and an organic EL device are minute amounts, they shall be disregarded. In such an organic EL device,  $r_1$  and  $r_2$  may be adjusted so that outdoor daylight on-the-strength reflection factor M outdoor daylight may be made 10% or less.

[0139]

Thus, by constituting so that a nonreflective object may contain some

organic EL devices, the number of installation can decrease a semi-permeable optical member and the semi-permeable optical reflective film, an organic EL device can be thin-film-ized, the step on manufacture is simplified, and manufacture effectiveness improves.

[0140]

According to the organic electroluminescence display explained above, the luminous efficiency of organic electroluminescence light can be raised, raising the contrast of an organic electroluminescence display without using a circular polarization of light filter. Moreover, where the current which flows to an organic layer is low-current-ized by the above-mentioned configuration, it becomes possible to raise the luminescence reinforcement of an organic electroluminescence display.

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is drawing showing the cross-section structure of the organic EL device in an organic electroluminescence display, and EL luminescence intensity distribution within an organic EL device.

[Drawing 2] It is drawing explaining the optical interference inside the component of the light emitted from the point emitting [ internal ] light.

[Drawing 3] It is drawing showing how to optimize organic EL device structure optically.

[Drawing 4] It is drawing showing the nonreflective layered product by the laminating optical film.

[Drawing 5] It is drawing showing aluminum, the wavelength of the nonreflective layered product using the organic substance, and the relation of a reflection factor.

[Drawing 6] It is the graph which shows the voltage-current property of the organic EL device of Example 1 which has a nonreflective laminated structure, and the organic EL device of Example 2 which does not have a nonreflective laminated structure.

[Drawing 7] It is the graph which showed the current-brightness property of Example 1 and Example 2.

[Drawing 8] It is the mimetic diagram of the optical model of an organic electroluminescence display.

[Drawing 9] In the configuration of drawing 8 , it is drawing showing the electric-field amplitude of the light taken out in the multiple echo and the component exterior of the light emitted from the interior of a component.

[Drawing 10] It is the mimetic diagram of the multiplex interference phenomenon in the organic EL device about incidence outdoor daylight.

[Drawing 11] (a) And (b) is drawing showing the phase reversal situation

of light.

[Drawing 12] It is drawing showing the count curve by distribution and the formula (9) of brightness effectiveness.

[Drawing 13] It is drawing showing the organic EL device of the 1st operation gestalt concerning this invention.

[Drawing 14] It is drawing showing the organic EL device of the 2nd operation gestalt concerning this invention.

[Drawing 15] It is drawing showing the organic EL device of the modification concerning this invention.

[Drawing 16] It is drawing showing the organic EL device of the modification concerning this invention.

[Drawing 17] It is drawing showing the organic EL device of the modification concerning this invention.

[Drawing 18] It is drawing showing the organic EL device of the modification concerning this invention.

[Drawing 19] It is drawing showing the organic EL device of the modification concerning this invention.

[Drawing 20] (a) And (b) is drawing showing the organic EL device of the modification concerning this invention.

[Description of Notations]

1 31 Substrate

2, 32, 43, 51, 61 Transparent electrode

3, 33, 42, 53, 64 Back plate

4, 34, 44, 52, 62 Organic layer

5 Luminous Layer

6, 35, 45 Point emitting light

7, 36, 46 Observer

8 EL Light

9a The first front synchrotron orbital radiation

9b The first back reflection light

11 Tooth-Back Reflector

12 Front Reflector

13 Glass Substrate

14 First Transflective Layer

15 Second Transflective Layer

16 High Reflecting Layer

18a First transflective layer reflected light 18a

18b High reflecting layer reflected light

19 Tooth-Back Reflective Part

20 Front Reflective Part

22a Incidence outdoor daylight

22b The first reflective outdoor daylight  
22c The first transparency outdoor daylight  
23 Multiple Echo Composition Light  
30 40 Organic EL device  
63 Optical Reflective Film

---

## DESCRIPTION OF DRAWINGS

---

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is drawing showing the cross-section structure of the organic EL device in an organic electroluminescence display, and EL luminescence intensity distribution within an organic EL device.

[Drawing 2] It is drawing explaining the optical interference inside the component of the light emitted from the point emitting [ internal ] light.

[Drawing 3] It is drawing showing how to optimize organic EL device structure optically.

[Drawing 4] It is drawing showing the nonreflective layered product by the laminating optical film.

[Drawing 5] It is drawing showing aluminum, the wavelength of the nonreflective layered product using the organic substance, and the relation of a reflection factor.

[Drawing 6] It is the graph which shows the voltage-current property of the organic EL device of Example 1 which has a nonreflective laminated structure, and the organic EL device of Example 2 which does not have a nonreflective laminated structure.

[Drawing 7] It is the graph which showed the current-brightness property of Example 1 and Example 2.

[Drawing 8] It is the mimetic diagram of the optical model of an organic electroluminescence display.

[Drawing 9] In the configuration of drawing 8 , it is drawing showing the electric-field amplitude of the light taken out in the multiple echo and the component exterior of the light emitted from the interior of a component.

[Drawing 10] It is the mimetic diagram of the multiplex interference phenomenon in the organic EL device about incidence outdoor daylight.

[Drawing 11] (a) And (b) is drawing showing the phase reversal situation of light.

[Drawing 12] It is drawing showing the count curve by distribution and the formula (9) of brightness effectiveness.

[Drawing 13] It is drawing showing the organic EL device of the 1st operation gestalt concerning this invention.

[Drawing 14] It is drawing showing the organic EL device of the 2nd operation gestalt concerning this invention.

[Drawing 15] It is drawing showing the organic EL device of the modification concerning this invention.

[Drawing 16] It is drawing showing the organic EL device of the modification concerning this invention.

[Drawing 17] It is drawing showing the organic EL device of the modification concerning this invention.

[Drawing 18] It is drawing showing the organic EL device of the modification concerning this invention.

[Drawing 19] It is drawing showing the organic EL device of the modification concerning this invention.

[Drawing 20] (a) And (b) is drawing showing the organic EL device of the modification concerning this invention.

[Description of Notations]

1 31 Substrate

2, 32, 43, 51, 61 Transparent electrode

3, 33, 42, 53, 64 Back plate

4, 34, 44, 52, 62 Organic layer

5 Luminous Layer

6, 35, 45 Point emitting light

7, 36, 46 Observer

8 EL Light

9a The first front synchrotron orbital radiation

9b The first back reflection light

11 Tooth-Back Reflector

12 Front Reflector

13 Glass Substrate

14 First Transflective Layer

15 Second Transflective Layer

16 High Reflecting Layer

18a First transflective layer reflected light 18a

18b High reflecting layer reflected light

19 Tooth-Back Reflective Part

20 Front Reflective Part

22a Incidence outdoor daylight

22b The first reflective outdoor daylight

22c The first transparency outdoor daylight  
23 Multiple Echo Composition Light  
30 40 Organic EL device  
63 Optical Reflective Film

---

(19) 日本国特許庁 (JP)

## (12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-127725

(P2004-127725A)

(43) 公開日 平成16年4月22日 (2004. 4. 22)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

H05B 33/24

H05B 33/14

F 1

H05B 33/24

H05B 33/14

テーマコード (参考)

3K007

A

審査請求 未請求 請求項の数 16 ○ L (全 22 頁)

(21) 出願番号

特願2002-290519 (P2002-290519)

(22) 出願日

平成14年10月2日 (2002. 10. 2)

(71) 出願人 000005016

パイオニア株式会社

東京都目黒区目黒1丁目4番1号

(74) 代理人

100116182

弁理士 内藤 照雄

(72) 発明者

福田 善教

埼玉県鶴ヶ島市富士見6丁目1番1号 パ

イオニア株式会社総合研究所内

Fターム (参考) 3K007 AB03 AB17 AB18 BB06 CB01

CB04 CC01 DB03

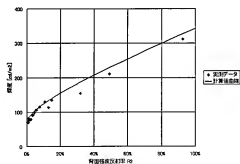
(54) 【発明の名称】 有機ELディスプレイ

## (57) 【要約】

【課題】少なくとも片側に光を取りだして利用する有機ELデバイスにおいて、背面の反射率を低下させてディスプレイの視認性を向上させる技術を使用したときの、有機EL光の外部取り出し強度を改善する方法と、これを用いた有機ELディスプレイを提供する。

【解決手段】少なくとも2つの電極で有機物が挟持された有機EL素子を備えた有機ELディスプレイであって、光を放出する発光層と、前記発光層からみて観察者側に配置された前面反射部位と、前記発光層からみて観察者側と反対側に配置された背面反射部位と、を有し、前記有機物の光学膜厚、前記前面反射部位の強度反射率 $R_1$ 、及び、前記背面反射部位の強度反射率 $R_2$ が、観察者からみたディスプレイの外光強度反射率を光学干渉効果によって10%以下にするように調整されていることを特徴とする有機ELディスプレイ。

【選択図】 図12



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

少なくとも 2 つの電極で有機物が挟持された有機 E L 素子を備えた有機 E L ディスプレイであって、

光を放出する発光層と、

前記発光層からみて観察者側に配置された前面反射部位と、

前記発光層からみて観察者側と反対側に配置された背面反射部位と、を有し、前記有機物の光学膜厚、前記前面反射部位の強度反射率  $R_1$ 、及び、前記背面反射部位の強度反射率  $R_2$  が、観察者からみたディスプレイの外光強度反射率を光学干涉効果によって 10 % 以下にするように調整されていることを特徴とする有機 E L ディスプレイ。

10

【請求項 2】

前記強度反射率  $R_1$  と、前記強度反射率  $R_2$  との関係が、

$$R_1 \leq R_2$$

である請求項 1 記載の有機 E L ディスプレイ。

【請求項 3】

前記強度反射率  $R_1$  と、前記強度反射率  $R_2$  との関係が、

【数 1】

$$\left( \frac{\sqrt{R_1} - \sqrt{R_2}}{1 - \sqrt{R_1 R_2}} \right)^2 \leq 0.1$$

20

の関係を略満たす請求項 1 記載の有機 E L ディスプレイ。

【請求項 4】

前記強度反射率  $R_1$  と、前記強度反射率  $R_2$  とが略等しい請求項 1 記載の有機 E L ディスプレイ。

【請求項 5】

前記強度反射率  $R_2$  が、E L 光外部取り出し効率を増強するように 5 ~ 50 % に調整されている請求項 1 記載の有機 E L ディスプレイ。

30

【請求項 6】

前記前面反射部位が、基材とひとつ以上の透明または半透明の膜で形成された請求項 1 乃至 5 の何れか記載の有機 E L ディスプレイ。

【請求項 7】

前記透明または半透明の膜は、前記電極のうちどちらか一方を含む請求項 6 の有機 E L ディスプレイ。

【請求項 8】

前記前面反射部位が、有機 E L 素子の電極と基材の界面である請求項 1 乃至 5 何れかの有機 E L ディスプレイ。

【請求項 9】

前記前面反射部位が、有機 E L 素子の電極と透過性膜の界面である請求項 1 乃至 5 何れか記載の有機 E L ディスプレイ。

40

【請求項 10】

前記前面反射部位が、空気と透明または半透明の膜で形成された請求項 1 乃至 5 何れか記載の有機 E L ディスプレイ。

【請求項 11】

前記背面反射部位は、有機 E L 素子の電極である請求項 1 乃至 5 何れか記載の有機 E L ディスプレイ。

【請求項 12】

前記背面反射部位が、複数の反射性または透過性または半透過性の膜で形成されている請

50



求項 1 乃至 5 何れか記載の有機 E L ディスプレイ。

【請求項 13】

前記複数の反射性または透過性または半透過性の膜は有機 E L 電極を含む請求項 12 の有機 E L ディスプレイ。

【請求項 14】

基材上に第一の半透過性膜と、第二の半透過性膜と、反射性膜と、が順または逆順に積層されて構成された低反射低透過率積層光学構造体を有する有機 E L ディスプレイであって、

前記低反射低透過率積層光学構造体は、有機 E L 素子であることを特徴とする有機 E L ディスプレイ。

【請求項 15】

前記第一の半透過性膜及び前記反射性膜は、電極であり、前記第二の半透過性膜は、少なくとも発光層を有する有機 E L 層であることを特徴とする請求項 14 記載の有機 E L ディスプレイ。

【請求項 16】

少なくとも 2 層から構成される低反射低透過率構造体と、少なくとも発光層と前記発光層に電荷を輸送する輸送層とを有する有機 E L 層が二つの電極により挟持された構造を持つ有機 E L 素子と、を備えた有機 E L ディスプレイであって、

前記低反射低透過率構造体は、前記輸送層を含むことを特徴とする有機 E L ディスプレイ

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、有機エレクトロルミネッセンス素子に関する。

【0002】

【従来の技術】

有機 E L 素子は、通常、透明導電膜と金属電極で有機物積層体を挟持した構造からなり、素子内部で発光した E L 光は、透明電極を介して素子外部に取り出される。

【0003】

光取り出し側、すなわち観察者側とは反対側に配された背面電極としては、Mg と Ag の合金、Al と Li の合金などが用いられる。これらの金属は反射性であるため、外部から入射した外光を強く反射する。従って、得られたディスプレイは、背面電極で反射された外光の影響が強く、観察者から見て鏡面様の視認性に欠けたものとなる。

【0004】

これを防ぐために、外光の反射をカットする目的で、高価な円偏光フィルターを素子外部に設けることが一般的である。しかし、光取り出し電極が、基板側ではなく、有機膜の上に配された、いわゆるトップエミッション構造では、円偏光フィルターを素子外部に素子に接するように設けることは難しい。

【0005】

また、基板側に光取り出し電極を配する場合でも、基板自体を薄くした場合、円偏光フィルターの厚さが薄型化、軽量化を阻害する。また、一般に用いられる円偏光フィルターの光透過率は 40 % 前後であるため、有機 E L 光の利用効率は、フィルターを付加しないものの半分以下になってしまう。

【0006】

視認性の低下を防ぐ他の方法として、素子の背面を無反射にする技術が知られている。無反射電極を実現する方法として、たとえば、吸収性の材料を電極として用いる技術が知られている。また、特許第 2529741 号は、光学干渉を利用して、図 4 に示すような積層構造を背面電極として低反射率のデバイスを得る方法を開示している。

【0007】

10

20

30

40

50

他にも、両方の電極を透過性または半透過性とし、どちらかの電極の外側に無反射性の膜を配することで、外光の背面電極での反射をおさえ、視認性を改善する方法もある。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

円偏光フィルターを付加せずに視認性を向上させる目的で素子背面の反射率を低反射ないし無反射にしたこれらの素子では、素子の外部取り出し効率の低下が激しい。

【0009】

有機EL素子の内部発光は、図1に示すように全方位に等しい強度で放射される。このため、前方に放射される光と等しい強度の光が背面方向にも放射されている。実際に素子外部に取り出される光は、前方放射光と背面方向に放射され、背面電極で反射されて前方に戻ってくる光との電界振幅合成和となる。通常、有機EL素子では、前方放射光と背面放射光の反射光の位相差が、光学干渉の強めあいの条件を満たすように、素子積層構造の光学膜厚を最適化し、背面電極や、その他の反射面によって反射された多重反射光も、有効に外部EL光として取り出されている。

【0010】

一方、無反射電極を背面電極として用いたとき、背面側に放射されたEL光は前面に取り出されることがないので、外部に取り出される有機EL光の強度は $1/2$ 程度になると予想される。

【0011】

ところが、実験を行ったところ、外部に取り出される有機EL光強度は、無反射電極を記した素子では通常の素子に比べて概 $1/4$ に低下してしまう。これは、通常素子に円偏光フィルターを付加したときの、さらに半分程度のEL光利用効率である。

【0012】

本発明は、少なくとも片側に光を取りだして利用する有機ELデバイスにおいて、背面の反射率を低下させてディスプレイの視認性を向上させる技術を使用したときの、有機EL光の外部取り出し強度を改善する方法と、これを用いた有機ELディスプレイを提供する。

【0013】

【課題を解決するための手段】

本発明の請求項1記載の有機EL素子は、少なくとも2つの電極で有機物が挟持された有機EL素子を備えた有機ELディスプレイであって、光を放出する発光層と、前記発光層からみて観察者側に配置された前面反射部位と、前記発光層からみて観察者側と反対側に配置された背面反射部位と、を有し、前記有機物の光学膜厚、前記前面反射部位の強度反射率 $R_1$ 、及び、前記背面反射部位の強度反射率 $R_2$ が、観察者からみたディスプレイの外光強度反射率を光学干渉効果によって10%以下にするように調整されていることを特徴とする有機ELディスプレイである。

【0014】

【発明の実施の形態】

本願発明者は、実験により、有機EL素子の背面電極反射率を無反射化することで、EL光の素子外部取り出し効率が概 $1/4$ になってしまうことと、前記背面電極反射率を有効に残すことで、前記取り出し効率が改善されることを見出した。

【0015】

また、本願発明者は、有機EL素子における、素子内部で発光するEL光および、素子外部から入射し、再び素子外部へ反射される外光反射光について、光学干渉モデルを元に調べ、両者は素子内部EL発光層を挟む二つの部位の反射率および透過率と、その内部の光学距離と、に関連していることを見出した。

【0016】

また、本願発明者は、前記EL光取り出し効率を表す式と、前記外光反射率を表す式が異なることを利用し、前記外光反射率を低く保ちながら、前記EL光取り出し効率を改善する、前記発光層を挟む二つの部位の反射率および透過率の範囲が存在することを見出した。

10

20

30

40

50

【0017】

以下、図面を参照しながら有機ELディスプレイについて、詳細に説明する。

【0018】

図1は、有機ELディスプレイ内の有機EL素子の断面構造および有機EL素子内でのEL発光強度分布を示す図である。有機EL素子は、ガラス基板1上に配された陽極としての透明電極2と、陰極としての背面電極3と、透明電極2と背面電極3の間に挟持された有機層4と、を有している。

観察者7は、透明電極2を介して素子外部に放射されるEL光8を観察する。

【0019】

有機層4は、ガラス基板1上に成膜された透明電極2を、パターンニングなどの必要な工程を経た後に、真空槽内で複数の有機物を順次加熱蒸着して作製する。透明電極2の上に、ホール輸送層4aを数十〜数百nm堆積させた後、発光層5を同じく堆積し、続いて電子輸送層4bを堆積する。これらの層の機能は、一つの層が複数の機能を有している場合もある。また、ひとつの機能を複数の材料の積層で構成することもある。以上は、低分子系有機EL材料の製膜法方であるが、高分子系有機EL材料等を用い、溶液をスピンコート法やインクジェット法等で順次塗布してもよい。背面電極3の成膜は、成膜の最終工程に当たるが、先に成膜された有機層4へのダメージを最小にする必要があり、真空中で金属を加熱蒸着することが多い。

【0020】

このようにして順次多層積層成膜された有機EL素子は、pn接合型の半導体発光ダイオードのように振る舞う。すなわち、透明電極2と背面電極3の間に電圧を印加すると、陽極である透明電極2からはホールが注入され、陰極である背面電極3からは電子が注入される。ホールはホール輸送層4a中を輸送され、電子は電子輸送層4b中を輸送され、発光層5内部で両キャリアが再結合し、そのエネルギーが発光層分子を励起し、励起分子が基底状態に戻る際に蛍光またはリン光を発する。

【0021】

実際にはホール輸送層4a、発光層5、電子輸送層4bのそれぞれの界面のエネルギー順位差によって、キャリアは界面に集中しており、多くの素子では発光層5のどちらかの界面でキャリア再結合が集中して発生する。このため、図1に示すように、素子内部におけるEL光の発光強度は発光層5の界面近傍に強いピークを示し、発光層内部にゆくに従って指数関数的に減少する分布となる事が知られている。

【0022】

この、強度のピーク値が $1/e$ に減少するまでの距離は、5〜20nm程度であり、大部分のEL発光点6は界面近傍に集中して層をなしていると考えられている。

【0023】

図2は、内部発光点6から放射された光の、素子内部での光学干渉について説明する図である。EL発光点6から放射されるEL光は、等方的かつ無偏光であり、観察者7の方向へ放射される光と同じ強度で背面電極の方向へも放射されている。発光層5の界面に集中している発光点6の1個1個はそれぞれ全く無相関の電磁波を放射している。無相関の電磁波どうしは干渉しにくい、以下のような理由で有機EL素子では強い干渉現象が発生している。

【0024】

一般的に、有機分子の蛍光寿命は数ナノ秒である。この時間に伝播する距離は真空中で数十cmである。一般に、発光点6から反射性の背面電極3間での距離は数十〜数百nmであり、有機物4の屈折率は1.6〜2程度であるので、背面電極3で反射された光の行程距離は可干渉距離より十分短い。

【0025】

このため、1個の発光点6が後方へ放射した光が、背面電極3で反射されて再び発光点6に戻ってきたときには、発光点6は反射光と相関のある電磁波をまだ放射し続けている。

10

20

30

40

50

すなわち、一つ一つの発光点のすべてが、自分自身の反射波によって干渉現象を引き起こし、これらを重ね合わせた合成波がEL光として観測されている。従って、内部で発光したEL光は、自己干渉現象によって強く光学的影響を受ける。

【0026】

図3は、有機EL素子構造を光学的に最適化する方法を示す図である。素子内部の光学干渉を利用し、素子外部に取り出される光8を大きくするために、図3に示すすべての光波が同位相になるように、有機物4を構成する4a、5、4bの層の光学膜厚を調整する。

【0027】

詳しく説明すると、図3の第一前方放射光9aと、第一後方放射光9bが同相になるように、発光界面5aと背面反射面11との光学距離10aを調整する。すなわち、第一後方放射光9bの伝播する往復の行程および背面反射面11での1回の反射過程で、位相差が $2\pi$ の整数倍となるように光学距離10aを調整すればよい。

【0028】

同ようにして、第一前方放射光9aと、第一前方反射光9cが同相になるように、発光界面5aと前面反射面12との光学距離10bを調整する。このとき、第一前方反射光9cは、まず前面反射面12で反射され、続いて背面反射面11で反射された後、第一前方放射光9aと干渉する。

【0029】

ここで、発光界面5aと背面反射面11との光学距離10aが前記のように調整されていれば、第一前方放射光の前面反射面反射光9dと、第一後方放射光9eが同相となれば自動的に第一前方放射光9aと、第一前方反射光9cが同相になる。すなわち、第一前方放射光の前方反射面反射光9dの伝播する往復の行程および前面反射面12での1回の反射過程で、位相差が $2\pi$ の整数倍となるように光学距離10bを調整すればよい。

【0030】

このようにして、光学距離10aおよび10bを調整した素子では、図3に記されたすべての素子内部光が同相で増強されることになる。素子の発光原理にもとづいて、キャリアの注入、輸送、再結合の過程は、素子を構成する層の膜厚によって変化せず、素子内部の発光強度分布や発光強度は保存されていると言える。すなわち、このような光学膜厚の調整を行っても、同一の電流を流したときの素子内部での発光強度はいつも同一であるといえる。

【0031】

本実施形態の有機ELディスプレイは、有機層4の光学膜厚、発光層5よりも観測者側に位置する光を反射する部位の光強度反射率 $R_1$ 、及び、発光層5よりも観測者からみて奥側に位置する光を反射する部位の光強度反射率 $R_2$ が、観察者からみた有機ELディスプレイの外光強度反射率を光学干渉効果によって10%以下にするように調整されている。以下にその理由を説明する。

【0032】

本願発明者は、図1において背面電極3を無反射膜とする実験を試みた。これは、例えば、特許第2529741号に記載の方法を用いて、光学干渉を利用した無反射の電極が得られる。

【0033】

(例1)

特許第2529741号で示された技術は以下のようなものである。図4のように、ガラス基板13上に第一半透過層14と高反射層16で第二半透過層15を挟んだ構造を作製する。

【0034】

このとき、第一半透過層反射光18aと、高反射層反射光18bが打ち消し合うように、第一半透過層14の反射率および透過率と第二半透過層15の厚さおよび高反射層16の反射率を調整することで無反射積層構造とすることができる。簡単な場合では、第二半透

10

20

30

40

50

過層 15 は、目的の波長の概 1/4 λ の光学厚さを持つようにするとよい。

【0035】

たとえば、第一半透過層 14 および高反射層 16 は、金属アルミ薄膜で実現することが出来る。また、第二半透過層 15 を、半透明な有機物の蒸着膜で作ることができる。また、第二の半透過層に、有機 EL 材料として一般的なアルミキノリン錯体 (Alq<sub>3</sub>) を選ぶことが出来る。Alq<sub>3</sub> の屈折率は、たとえばエリブソメトリ法などで測定することが出来、波長 525 nm において 1.76 である。

【0036】

膜の屈折率を n、厚さを d としたとき、その光学厚さは n × d で与えられ、Alq<sub>3</sub> 膜の場合、λ = 525 nm の 1/4 となる d は、以下のように求められる。

【0037】

$$n \cdot d = 525 / 4 = 131.25$$

$$\therefore d = 74.6 \text{ nm}$$

【0038】

実際にガラス基板 13 上に第一半透過層 14 としてごく薄いアルミを真空加熱蒸着し、続いて第二半透過層 15 として Alq<sub>3</sub> を 80 nm 真空加熱蒸着し、最後に高反射層 16 としてアルミを 100 nm 真空蒸着したものの反射率をガラス側から測定すると、図 5 のようになり、光学干渉によってその反射率は最低 1% まで減じることが出来る。

【0039】

さらに、図 5 に示すように、第二半透過層 15 として用いた Alq<sub>3</sub> 層の厚さを調整することで、その最低反射率を調整することができる。この、反射率の調整は、第一半透過層の薄いアルミの厚さを変化させて行うことも出来る。

【0040】

次に、このようにして得られる無反射積層構造を有機 EL 素子の陰極として用いた。ソーダライムガラス上に成膜された透明電極をパターニングし、その上に有機 EL 素子を作製した。ホール注入層として銅フタロシアニン 25 nm を、ホール輸送層として α-NPD 45 nm を、発光層として Alq<sub>3</sub> 60 nm を順次真空中にて蒸着した。各層の膜厚は、図 3 で示した最適設計を行って、実験により外部 EL 光強度が最大となる組み合わせを選択した。その後、電子注入添加材として、Li<sub>2</sub>O を 0.3 nm 積層した後、前記した薄いアルミ、Alq<sub>3</sub> を 80 nm、高反射アルミを蒸着して無反射積層構造を有する有機 EL 素子を作成した。

【0041】

(例 2)

上記有機 EL 素子と対比させるために、同様の ITO 付きソーダライムガラス上に銅フタロシアニン 25 nm、α-NPD 45 nm、Alq<sub>3</sub> 60 nm を順次真空中にて蒸着し、その後、電子注入添加材として、Li<sub>2</sub>O を 0.3 nm 積層した後、アルミを 100 nm 蒸着した無反射積層構造を有しない有機 EL 素子を作製した。

【0042】

図 6 は無反射積層構造を有する例 1 の有機 EL 素子と無反射積層構造を有しない例 2 の有機 EL 素子の電圧-電流特性を示すグラフである。図 6 より、両素子の電圧-電流特性はほとんど同一であることがわかる。このことは、両素子において有機ダイオードが等しく機能しており、同一電流に対する素子の内部発光強度も等しいと見なすことが出来る。

【0043】

一方、図 7 は例 1 と例 2 の電流-輝度特性を示したグラフである。図 7 によると、電流-輝度特性においては、すべての電流領域において、常に例 1 の電流輝度効率、例 2 の電流輝度効率の概 1/4 である。

【0044】

これまで述べたように、例 2 では、反射・干渉現象を利用して、後方放射光が前方光を増強するように設計されている。一方、例 1 では、後方放射光が前方に反射されることがなくなるので、取り出される EL 光強度は概 1/2 になることが予想される。ところが、簡

単なモデル計算を行うと、その強度は  $1/2$  ではなく、概  $1/4$  になることが示される。

【0045】

このことは、以下に示す有機EL素子内部における干渉モデルにより説明される。まず、光学干渉現象では、光の入射角を考慮して解析せねばならないが、ここでは垂直入射の場合に限定する。入射角が垂直でない場合は、入射角によって位相や反射強度などが変化するが、ディスプレイとしては垂直入射を重視して考えてよい。また、光の偏光についても、EL放射光が無偏光であることと、垂直入射での議論では偏光を区別する必要がないことから、以後無視して考える。

【0046】

次に、光学膜の多重干渉では、その多重反射および伝播における位相の遅れや吸収による減衰を考えなければならないが、例1のようにすべての反射光を同相とするように素子を最適化してあれば、素子内部から外部に透過してくる光はすべて同相であるとしてよいので、位相の項は省略して議論する。

【0047】

また、これらの光学干渉を定量的に議論するときには、電磁波としての重ね合わせをすべて考えた後、最後にその絶対値の自乗を光の強度として考えなければならない。すなわち、一般に測定される光の強度、反射率、透過率などは、光波の電界振幅の自乗である。実際には、電磁波は複素数で表され、その絶対値の自乗が光強度となるが、議論を簡単にするために、実数領域で話を進める。このようにしても一般性を失わない。

【0048】

「光学の原理I」(M. ボルン, E. ウォルフ著, 1974, 東海大学出版) p. 61~73 には、反射・屈折現象に関する Fresnel の公式が示されている。たとえば、ある反射面の反射率  $R$  を実測したとき、その値は光の強度の反射率であり、電界振幅反射率  $r$  とは次の関係にある。

【0049】

$$R = |r|^2 \quad \dots (1)$$

$$\therefore r = \sqrt{R} \quad \dots (2)$$

【0050】

この関係は、複素反射率のときにも同様に成立する。以下の議論では、光の強度反射率、強度透過率をそれぞれ  $R$ ,  $T$  のように大文字アルファベットで表し、電界振幅反射率、電界振幅透過率を  $r$ ,  $t$  のように小文字アルファベットで表すこととする。

【0051】

「光学の原理I」にあるように、屈折率  $n_1$  の媒質から屈折率  $n_2$  の媒質に垂直で入射した光の感じる電界振幅反射率  $r$ , 電界振幅透過率  $t$  は以下のように表される。

【0052】

$$r = (n_2 - n_1) / (n_2 + n_1) \quad \dots (3)$$

$$t = 2 \cdot n_2 / (n_2 + n_1) \quad \dots (4)$$

【0053】

同じ媒質について、これとは逆に屈折率  $n_2$  の媒質から  $n_1$  の媒質に入射した場合について、電界振幅反射率  $r'$ , 電界振幅透過率  $t'$  のように、右肩に「'」をつけて表すことにする。 $r'$ ,  $t'$  は以下のように表される。

【0054】

$$r' = (n_1 - n_2) / (n_2 + n_1) = -r \quad \dots (5)$$

$$t' = 2 \cdot n_1 / (n_2 + n_1) \quad \dots (6)$$

【0055】

このときの電界強度反射率  $R$ ,  $R'$ , および電界強度透過率  $T$ ,  $T'$  は以下のように表される。

【0056】

10

20

30

40

$$\begin{aligned}
 R &= |r|^2 = r^2 \\
 &= (n_2 - n_1)^2 / (n_1 + n_2)^2 = R' \quad \dots (7) \\
 T &= (n_2 / n_1) \cdot |t|^2 \\
 &= 4 \cdot n_1 \cdot n_2 / (n_2 + n_1)^2 = T' \\
 &= t \cdot t' \quad \dots (8)
 \end{aligned}$$

【0057】

また、以下のような関係も導かれる。

10

【0058】

$$\begin{aligned}
 r + t &= 1 \\
 r^2 + t^2 &= 1
 \end{aligned}$$

【0059】

以上を前提に、有機ELの光学的モデルについて説明する。

図8は有機ELディスプレイの光学的モデルの模式図である。すべての有機ELデバイスは、光学的に単純化すると図8のようにみなすことができる。

【0060】

図3は図8の特殊な場合といえる。図3では、背面反射面11の反射率 $r_2$ は、 $r_2 \approx 1$ としていほど高く、前面反射面12の反射率 $r_1 \ll 1$ である例を示している。前面反射面12での反射が2回以上繰り返された反射光の強度は非常に小さく、無視できるほどであるため、素子内部の4つの光波9a, 9b, 9c, 9dを考えればよかった。

20

【0061】

図9は、図8の構成において、素子内部から放射された光の多重反射と、素子外部へ取り出される光の電界振幅を表した図である。内部発光の電界振幅をEとし、それぞれの光波の電界振幅を記入してある。

【0062】

これら外部に取り出された光波の合成波の振幅と、内部発光の電界振幅Eとの比を、EL光取り出し合成電界振幅透過率 $m_{EL}$ と呼ぶことにする。

観察者7の側に取り出される光波の $m_{EL}$ は、すでにすべての外部取り出し光が同相となるように調整されているので、そのまま足し合わせればよく、以下のように表現される。

30

【0063】

【数2】

$$\begin{aligned}
 m_{EL} &= t_1 \{ 1 + r_2 + r_1 r_2 + r_1^2 r_2^2 + \dots \} \\
 &= t_1 \{ (1 + r_1 r_2 + r_1^2 r_2^2 + \dots) + r_2 (1 + r_1 r_2 + r_1^2 r_2^2 + \dots) \} \\
 &= t_1 \left\{ (1 + r_2) \sum_{k=0}^{\infty} (r_1 r_2)^k \right\} = \frac{1 + r_2}{1 - r_1 r_2} \cdot t_1
 \end{aligned}$$

・・・ (9)

40

【0064】

ここで、 $0 \leq |r_1| \leq 1$ ,  $0 \leq |r_2| \leq 1$ より  $0 \leq |r_1 r_2| \leq 1$ と、以下の公式を用いた。

【0065】

【数3】

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{k=0}^n p^k = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1 - p^{n+1}}{1 - p} = \frac{1}{1 - p}$$

50

(0 < p < 1) . . . (10)

【0066】

同様に、観察者7とは反対側の外部に取り出される光波は、以下のようになる。

【0067】

【数4】

$$\begin{aligned} m_{EL} &= t_2 \left\{ 1 + r_1 + r_1 r_2 + r_1^2 r_2 + r_1^2 r_2^2 + \dots \right\} \\ &= t_2 \left\{ (1 + r_1 r_2 + r_1^2 r_2^2 + \dots) + r_1 (1 + r_1 r_2 + r_1^2 r_2^2 + \dots) \right\} \\ &= t_2 \left\{ (1 + r_1) \sum_{k=0}^{\infty} (r_1 r_2)^k \right\} = \frac{1 + r_1}{1 - r_1 r_2} t_2 \end{aligned}$$

10

. . . (11)

【0068】

次に、図10は、入射外光22aに関する有機EL素子での多重干渉現象の模式図である。観察者7側の光は、第1の反射光22bと、素子内部に透過・入射して多重反射を繰り返しながら素子外部に出てくる光の合成光23に分けられる。内部から発光したEL光の多重反射光がすべて同相になるよう調整された素子では、合成光23は自動的にすべて同相となる。

20

【0069】

一方、第1の反射光22bは、前記fresnelの公式によって、入射側/透過側媒質の屈折率の大小関係によりその反射率 $r_1'$ の符号が反転する。これは、位相が $\pi$ だけシフトすることに相当する。入射光22aと透過光22cは常に同位相である。

【0070】

図11(a)及び(b)は、光の位相の反転状況を示す図である。位相が反転するときを-1、同位相の時を1と記してある。 $r = -r'$ であるので、ある入射方向で位相反転を伴う反射が生じたとき、その逆方向の入射では位相は反転しない。

30

【0071】

図11(a)では、外光の第一反射で位相が反転する場合を示している。このとき、素子内部の光は、前面反射部位20では同位相の反射となる。すなわち、前面反射部位20と背面反射部位19の間を1往復する光は、伝播・反射により $2m\pi$  ( $m$ は自然数)の位相差を持つように調整されている。この調整は、前記した素子の最適化を行うことと同意であり、EL光を増強するように最適化された素子では、自動的にこのように調整されている。

【0072】

図11(b)では、外光の第一反射で位相が反転しない場合を示している。このとき、素子内部の光は、前面反射部位20では位相反転反射となる。すなわち、前面反射部位20と背面反射部位19の間を1往復する光は、伝播・反射により $2(m-1)\pi$  ( $m$ は自然数)の位相差を持つように調整されている。この調整は、前記した素子の最適化を行うことと同意であり、EL光を増強するように最適化された素子では、自動的にこのように調整されている。

40

【0073】

このように、最適化されたEL素子においては、いかなる場合でも図10における第一の反射光22bと透過合成光23は逆相となる。ここで、透過合成光23の合成振幅は以下のように表される。

【0074】

$$t_1 t_1' r_2 (1 + r_1 r_2 + (r_1 r_2)^2 + \dots) = t_1 t_1' r_2 / (1 - r_1 r_2)$$

50



2) . . . (12)

【0075】

このことから、図10におけるすべての合成波の電界振幅と、入射した外光22aの電界振幅Aとの比を表す係数を外光合成振幅反射率 $m_{\text{外光}}$ は、以下のように表される。

【0076】

$$m_{\text{外光}} = |r_1'| - |t_1'| r_2 / (1 - r_1 r_2) | \quad \dots (13)$$

【0077】

ここで、 $t_1 t_1' = T_1 = 1 - r_1^2$ 、 $|r_1'| = |r_1|$ を用いると、式(13)は以下のように書き換えられる。

【0078】

$$\begin{aligned} m_{\text{外光}} &= |r_1'| - |r_2| (1 - |r_1|^2) / (1 - |r_1 r_2|) \\ &= (|r_1 - r_2|) / (1 - |r_1 r_2|) \quad \dots (14) \end{aligned}$$

【0079】

以上が有機EL素子の一般的光学モデル解析である。まとめると、前面反射部位の反射率 $r_1$ 、 $r_1'$ と透過率 $t_1$ 、 $t_1'$ および、背面反射部位の反射率 $r_2$ を用い、内部EL光の電界振幅をE、入射外光の電界振幅をAとしたとき、外部に取り出されたEL光の電界振幅 $E_{\text{out}}$ および外部に反射する入射外光 $A_{\text{ref}}$ は、以下のように表される。

【0080】

【数5】

$$E_{\text{OUT}} = m_{\text{EL}} \cdot E = \frac{1 + r_2}{1 - r_1 r_2} t_1 \cdot E$$

. . . (15)

【0081】

【数6】

$$A_{\text{REF}} = m_{\text{外光}} \cdot A = \frac{|r_1 - r_2|}{1 - |r_1 r_2|} \cdot A$$

. . . (16)

【0082】

このときの光強度 $I_{\text{OUT}}$ および $I_{\text{REF}}$ はそれぞれ $E_{\text{OUT}}$ および $A_{\text{REF}}$ の絶対値の自乗である。特に、 $A_{\text{REF}} = 0$ となる条件は、 $r_1 = r_2$ である。

【0083】

式(15)について、その強度比 $M_{\text{EL}} = I_{\text{OUT}} / E^2$ を $r_1$ 、 $r_2$ が、それぞれ0～0.95の範囲について計算した結果以下の表1に示す。表1では、 $r_1 = r_2$ を満たす対角線上に位置するコラムの強度反射率 $M_{\text{EL}}$ が1.00となっていることがわかる。

【0084】

【表1】

EL 光見かけの強度透過率  $M_{EL}$ 

$r_1$	0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95
0.00	1.00	0.90	0.81	0.72	0.64	0.56	0.49	0.42	0.36	0.30	0.25	0.20	0.16	0.12	0.09	0.06	0.04	0.02	0.01	0.00
0.05	1.00	1.00	0.90	0.81	0.72	0.64	0.56	0.48	0.41	0.35	0.29	0.24	0.19	0.14	0.11	0.07	0.05	0.03	0.01	0.00
0.10	1.00	1.00	1.00	0.90	0.81	0.72	0.63	0.55	0.47	0.40	0.34	0.27	0.22	0.17	0.13	0.08	0.06	0.03	0.01	0.00
0.15	1.00	1.00	1.00	1.00	0.90	0.80	0.71	0.62	0.54	0.46	0.38	0.32	0.26	0.20	0.15	0.10	0.07	0.04	0.02	0.00
0.20	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.90	0.80	0.70	0.61	0.53	0.44	0.37	0.30	0.23	0.18	0.12	0.08	0.05	0.02	0.01
0.25	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.89	0.79	0.69	0.60	0.51	0.43	0.35	0.27	0.21	0.15	0.10	0.06	0.03	0.01
0.30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.89	0.79	0.69	0.60	0.51	0.43	0.35	0.27	0.21	0.15	0.10	0.06	0.03	0.01
0.35	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.89	0.79	0.69	0.60	0.51	0.43	0.35	0.27	0.21	0.15	0.10	0.06	0.03	0.01
0.40	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.89	0.79	0.69	0.60	0.51	0.43	0.35	0.27	0.21	0.15	0.10	0.06	0.03	0.01
0.45	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.89	0.79	0.69	0.60	0.51	0.43	0.35	0.27	0.21	0.15	0.10	0.06	0.03	0.01
0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.89	0.79	0.69	0.60	0.51	0.43	0.35	0.27	0.21	0.15	0.10	0.06	0.03	0.01
0.55	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.89	0.79	0.69	0.60	0.51	0.43	0.35	0.27	0.21	0.15	0.10	0.06	0.03	0.01
0.60	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.89	0.79	0.69	0.60	0.51	0.43	0.35	0.27	0.21	0.15	0.10	0.06	0.03	0.01
0.65	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.89	0.79	0.69	0.60	0.51	0.43	0.35	0.27	0.21	0.15	0.10	0.06	0.03	0.01
0.70	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.89	0.79	0.69	0.60	0.51	0.43	0.35	0.27	0.21	0.15	0.10	0.06	0.03	0.01
0.75	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.89	0.79	0.69	0.60	0.51	0.43	0.35	0.27	0.21	0.15	0.10	0.06	0.03	0.01
0.80	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.89	0.79	0.69	0.60	0.51	0.43	0.35	0.27	0.21	0.15	0.10	0.06	0.03	0.01
0.85	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.89	0.79	0.69	0.60	0.51	0.43	0.35	0.27	0.21	0.15	0.10	0.06	0.03	0.01
0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.89	0.79	0.69	0.60	0.51	0.43	0.35	0.27	0.21	0.15	0.10	0.06	0.03	0.01
0.95	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.89	0.79	0.69	0.60	0.51	0.43	0.35	0.27	0.21	0.15	0.10	0.06	0.03	0.01

 $r_2$ 

【0085】

また、(式16)について、同様に  $M_{外光} = I_{REF} / A^2$  を  $r_1$ 、 $r_2$  が、それぞれ 0～0.95 の範囲について計算した結果を表2に示す。表2では、 $r_1 = r_2$  を満たす対角線上に位置するコラムの強度反射率  $M_{外光}$  が0となっていることがわかる。

【0086】

【表2】

表2

外光見かけの強度反射率  $M_{\text{外光}}$ 

	$r_1$	0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95
0	0.0%	0.3%	1.0%	2.3%	4.0%	6.3%	9.0%	12.3%	16.0%	20.3%	25.0%	30.3%	36.0%	42.3%	49.0%	56.3%	64.0%	72.3%	81.0%	90.3%	90.3%
0.05	0.3%	0.0%	0.3%	1.0%	2.3%	4.1%	6.4%	9.3%	12.8%	16.7%	21.3%	26.4%	32.2%	38.5%	45.4%	52.9%	61.0%	69.8%	79.2%	89.3%	89.3%
0.10	1.0%	0.3%	0.0%	0.3%	1.0%	2.4%	4.3%	6.7%	9.8%	13.4%	17.7%	22.7%	28.3%	34.6%	41.6%	49.4%	57.9%	67.2%	77.3%	88.2%	88.2%
0.15	2.3%	1.0%	0.3%	0.0%	0.3%	1.1%	2.5%	4.5%	7.1%	10.4%	14.3%	19.0%	24.5%	30.7%	37.8%	45.7%	54.6%	64.4%	75.2%	87.0%	87.0%
0.20	4.0%	2.3%	1.0%	0.3%	0.0%	0.3%	1.1%	2.6%	4.7%	7.5%	11.3%	15.5%	20.7%	26.8%	33.6%	41.6%	51.0%	61.3%	72.9%	85.7%	85.7%
0.25	6.3%	4.1%	2.4%	1.1%	0.3%	0.0%	0.3%	1.2%	2.6%	5.1%	8.2%	12.1%	17.0%	22.8%	29.8%	37.9%	47.3%	58.0%	70.3%	84.3%	84.3%
0.30	9.0%	6.4%	4.3%	2.5%	1.1%	0.3%	0.0%	0.3%	1.3%	3.0%	5.5%	9.0%	13.4%	18.9%	25.6%	33.7%	43.3%	54.5%	67.6%	82.6%	82.6%
0.35	12.3%	9.3%	6.7%	4.5%	2.6%	1.2%	0.3%	0.0%	0.3%	1.4%	3.3%	6.1%	10.0%	15.1%	21.5%	29.4%	39.1%	50.7%	64.5%	80.8%	80.8%
0.40	16.0%	12.8%	9.8%	7.1%	4.7%	2.8%	1.3%	0.3%	0.0%	0.4%	1.6%	3.7%	6.9%	11.4%	17.4%	25.0%	34.6%	46.5%	61.0%	78.7%	78.7%
0.45	20.3%	16.7%	13.4%	10.4%	7.5%	5.1%	3.0%	1.4%	0.4%	0.0%	0.4%	1.8%	4.2%	8.0%	13.3%	20.5%	29.9%	42.0%	57.2%	76.3%	76.3%
0.50	25.0%	21.3%	17.7%	14.3%	11.3%	8.2%	5.5%	3.3%	1.6%	0.4%	0.0%	0.5%	2.0%	4.9%	9.5%	16.0%	25.0%	37.1%	52.9%	73.5%	73.5%
0.55	30.3%	26.4%	22.7%	19.0%	15.5%	12.1%	9.0%	6.1%	3.7%	1.8%	0.5%	0.0%	0.6%	2.4%	5.9%	11.6%	19.9%	31.7%	48.0%	70.2%	70.2%
0.60	36.0%	32.2%	28.3%	24.5%	20.7%	17.0%	13.4%	10.0%	6.9%	4.2%	2.0%	0.6%	0.7%	3.0%	7.4%	14.8%	26.0%	42.5%	66.3%	90.3%	90.3%
0.65	42.3%	38.5%	34.6%	30.7%	26.8%	22.8%	18.9%	15.1%	11.4%	8.0%	4.9%	2.4%	0.7%	3.6%	8.8%	16.8%	29.0%	46.5%	70.3%	90.3%	90.3%
0.70	49.0%	45.4%	41.6%	37.8%	33.8%	29.8%	25.6%	21.5%	17.4%	13.3%	9.5%	5.9%	3.0%	0.0%	0.0%	1.1%	5.2%	13.7%	29.2%	55.7%	55.7%
0.75	56.3%	52.9%	49.4%	45.7%	41.9%	37.9%	33.7%	29.4%	25.0%	20.5%	16.0%	11.6%	7.4%	3.8%	1.1%	0.0%	1.6%	7.8%	21.3%	48.4%	48.4%
0.80	64.0%	61.0%	57.9%	54.6%	51.0%	47.3%	43.3%	39.1%	34.6%	30.5%	25.0%	19.9%	14.8%	9.8%	5.2%	1.6%	0.0%	2.4%	12.8%	39.1%	39.1%
0.85	72.3%	69.8%	67.2%	64.4%	61.3%	58.0%	54.5%	50.7%	46.5%	42.0%	37.1%	31.7%	26.0%	20.0%	13.7%	7.6%	2.4%	0.0%	4.5%	27.0%	27.0%
0.90	81.0%	79.2%	77.3%	75.2%	72.9%	70.3%	67.6%	64.5%	61.0%	57.2%	52.9%	48.0%	42.5%	36.3%	29.2%	21.3%	12.8%	4.5%	0.0%	11.9%	11.9%
0.95	90.3%	89.3%	88.2%	87.0%	85.7%	84.3%	82.6%	80.8%	78.7%	76.3%	73.5%	70.2%	66.3%	61.5%	55.7%	48.4%	39.1%	27.0%	11.9%	0.0%	0.0%

【0087】

この結果を、例1と例2に適用してみる。例2では、前面反射部位反射率  $r_1$  は次のように見積もることが出来る。例2において、前方側の強い反射面となりうるのは、有機物／ITO／ガラス界面であり、特にITO／ガラスの屈折率差が大きく、有機物／ITO界面の屈折率差が小さいので、ITO／ガラス界面を前方反射部位としてよい。このことは、EL光取り出し効率を最大にする素子においては、この界面と発光層との距離が光学的に強め合うように調節したときに得られることが、実験的に確認されていることから正しいと言える。

【0088】

ITO（屈折率  $n = 1.93$ ）とガラス（屈折率  $n = 1.52$ ）の界面での電界振幅反射率  $r_1$  は以下になる。

10

20

30

40

50

【0089】

$$\begin{aligned} r_2 &= (n_{IT0} - n_{aq}^* r_1) / (n_{IT0} + n_{aq}^* r_1) \\ &= (1.93 - 1.52) / (1.93 + 1.52) \\ &= 0.119 \quad \dots (17) \end{aligned}$$

【0090】

また、吸収のない反射・透過現象であるので、 $t_1 = 1 - r_1$  としてよい。

【0091】

背面反射部位は、金属電極であるアルミと有機物の界面である。Alq / Al 界面の電界 10  
振幅反射率は、92.5%であるので、(式9)に( $r_1$ ,  $r_2$ ) = (0.119, 0.925)を代入し、自乗すると、そのEL強度の取り出し係数 $M_{EL}$ は以下のようになる。

【0092】

$$M_{EL} = (m_{EL})^2 = 1.906^2 = 3.63 \quad \dots (18)$$

【0093】

次に、例1についても同様に計算する。背面電極の無反射化がなされているので、( $r_1$ ,  $r_2$ ) = (0.119, 0)として $M_{EL}$ を計算すると以下のようになる。

【0094】

$$M_{EL} = (m_{EL})^2 = 0.889^2 = 0.78 \quad \dots (19)$$

20

【0095】

図7より例1の輝度は例2の輝度の0.23倍であるが、これは取り出し係数 $M_{EL}$ の比の計算結果 $0.78 / 3.63 = 0.21$ とよく合っている。

【0096】

(例3)

例3として、無反射電極の第二透過層であるAlq<sub>3</sub>層の厚さを調整し、実測した強度反射率 $R = 0.12$ 、すなわち $r_2 = (0.12)^{1/2} = 0.346$ としたものを電極とした有機EL素子を、例1と同じように作製した。このときの同じ電流での外部EL光強度は、 $154 \text{ cd/m}^2$ であり、例2との輝度比は0.48であった。

【0097】

式(9)に( $r_1$ ,  $r_2$ ) = (0.119, 0.346)を代入し、自乗すると、そのEL強度の取り出し係数 $M_{EL}$ は以下のようになる。

【0098】

$$M_{EL} = (m_{EL})^2 = 1.237^2 = 1.531$$

これより、例2での計算値との比は $1.531 / 3.63 = 0.422$ となり、実際の輝度比0.48とよくあっている。表3に、例1から例3までを並べて示す。各例において、計算値と実測値が良好に一致していることがわかる。

【0099】

【表3】

30

	電界振幅反射率		EL 光外部取り出し強度		例 2 で規格化した強度比	
	r1	r2	計算値	実測値 7.5mA/cm <sup>2</sup>	計算値	実測値
例 1	0.119	0	0.78	77	0.215	0.24
例 2	0.119	0.925	3.63	312cd/m <sup>2</sup>	1	1
例 3	0.119	0.346	1.53	154	0.422	0.48

表 3

【 0 1 0 0 】

(例 4・5)

例 4 として、例 3 で作製したのと同じ条件の無反射積層体を、異なる基材上に作製し、その反射率を調べた。ここでは、例 4 としてガラス／無反射積層体のものを、例 5 としてガラス／ITO／無反射積層体のものを作製し、その強度反射率を測定した。

【 0 1 0 1 】

例 5 の強度反射率は約 10 % であった。このことより、この無反射積層体の振幅反射率は  $(0.1)^{1/2} = 0.316$  と見積もられる。一方、例 4 の強度反射率は約 5 % であった。例 5 を基に、例 4 での外光反射率を式 (14) に  $(r_1, r_2) = (0.119, 0.316)$  を代入して計算すると、 $M_{\text{外光}} = (m_{\text{外光}})^2 = 4.19\%$  となり、実測値約 5 % によく合っている。

【 0 1 0 2 】

表 2 から、有機 EL 素子において、外光に対して無反射となるような  $(r_1, r_2)$  は、 $r_1 = r_2$  の時であり、表 1 から  $r_1 = r_2$  では EL 光の取り出し係数  $M_{\text{EL}} = 1$  となる。

【 0 1 0 3 】

ここで、 $(r_1, r_2) = (0.1, 0.35)$  とした場合、 $M_{\text{EL}} = 1.59$ 、 $M_{\text{外光}} = 6.7\%$  とすることが出来る。 $(r_1, r_2) = (0.1, 0)$  とした場合の  $M_{\text{EL}} = 0.81$ 、 $M_{\text{外光}} = 1.0\%$  と比べると EL 効率が 1.96 倍に改善されていることがわかる。

【 0 1 0 4 】

(例 6)

例 4 と同様に、無反射電極の第一透過層である薄いアルミ層の厚さを調整し、強度反射率を変えたものを電極とした複数の有機 EL 素子を用いて、例 1 と同じように作製した。

【 0 1 0 5 】

これらの素子の、輝度効率の分布と式 (9) による計算曲線を図 12 に示す。このように、様々な  $R_2 = (r_2)^2$  において、実際の素子の EL 強度は式 (9) による計算によくあっている。

【 0 1 0 6 】

また図 12 より、背面強度反射率が 0 から 10 % に増加すると、輝度が約 70 cd/m<sup>2</sup> から 125 cd/m<sup>2</sup> まで、実に 1.79 倍程度に大きく上昇しているのがわかる。すなわち、有機 EL 素子の素子効率は 2 倍近く向上している。このように、背面反射率が 0 である場合に比べ、僅かでも強度反射率が增大した場合には、素子効率が大幅に向上することがわかる。

【 0 1 0 7 】

ここで、表 1 及び表 2 より、外光無反射の場合の場合と僅かに残留反射が残っている場合を比較する。表 2 から、有機 EL 素子において、外光に対して無反射となるような  $(r_1, r_2)$  は、 $r_1 = r_2$  の時である。表 1 から  $r_1 = r_2$  では EL 光の取り出し係数が  $M_{EL} = 1$  となる。

【0108】

ここで、 $(r_1, r_2) = (0.1, 0.35)$  とした場合（残留反射あり）、 $M_{EL} = 1.59$ ,  $M_{外光} = 6.7\%$  とすることが出来る。 $(r_1, r_2) = (0.1, 0)$  とした場合の  $M_{EL} = 0.81$ ,  $M_{外光} = 1.0\%$  と比べると EL 光の取り出し効率が 1.96 倍に改善される。これより、外光無反射の場合に比べて、僅かに残留反射が残っている場合には、EL 光の取り出し効率が大幅に改善されることがわかる。

【0109】

ここでは、背面反射部位の強度反射率  $R_2$  が、観察者からみたディスプレイの外光強度反射率  $M_{外光}$  を光学干渉効果によって 10% 以下にするように調整されているとよく、好ましくは、前記強度反射率  $R_2$  が、EL 光外部取り出し効率を増強するように 5~50% に調整されているとよい。観察者からみたディスプレイの外光強度反射率  $M_{外光}$  が 10% よりも大きくなると、外光強度の反射率の増大が有機 EL 光の取り出し効率の増大よりも大きな寄与を果たし、ディスプレイの視認性が悪化してしまう。

【0110】

この観察者からみたディスプレイの外光強度反射率  $M_{外光}$  を満たすような  $(r_1, r_2)$  の組み合わせとしては、表 2 の左上隅から右下隅にかけて引くことのできる対角線近傍の領域の数値が外光強度反射率  $M_{外光}$  10% 以下となっている。この領域は、式 (16)

より、以下の関係式により表現される。

【0111】

【数 7】

$$\left( \frac{r_1 - r_2}{1 - r_1 r_2} \right)^2 \leq 0.1$$

・・・ (20)

【0112】

【数 8】

$$\left( \frac{\sqrt{R_1} - \sqrt{R_2}}{1 - \sqrt{R_1 R_2}} \right)^2 \leq 0.1$$

・・・ (21)

【0113】

この領域の数値において、表 1 を参考にして EL 光の強度透過率  $M_{EL}$  を向上させるよう選択すれば、外光強度の反射率を抑え、かつ EL 光の発光強度を高めたディスプレイを得ることが可能となる。好ましくは、表 1 の左上隅から右下隅にかけて引くことのできる対角線の左下側に位置するパラメータのうち、外光強度反射率  $M_{外光}$  10% 以下となるパラメータを選択すればよい。この領域は、表 1 より、以下の関係式により表現される。

【0114】

$r_1 \leq r_2$  ・・・ (22)

$R_1 \leq R_2$  ・・・ (23)

10

20

30

40

50

【0115】

以上をまとめると、外光強度反射率 $M_{\text{外光}} 10\%$ 以下であり、かつパラメータ $r_1 \leq r_2$ であるような、すなわち $R_1 \leq R_2$ となるようにディスプレイを調整することが好ましい。このようなディスプレイであれば、外光強度の反射率を抑え、かつEL光の発光強度を高めたディスプレイを得ることが可能となる。また、上記構成により、有機層に流れる電流を低電流化した状態で、有機ELディスプレイの発光強度を高めることが可能となる。

【0116】

(第1実施形態)

以下、図13を参照しながら本発明に係る第1実施形態について説明する。

10

【0117】

図13は、本発明に係る第1実施形態の有機EL素子30を示す図である。有機EL素子30は、ガラス基板31と、ガラス基板31上に配置された透明電極32と、透明電極32上に順次積層された複数の積層体である有機層34と、有機層34に続いて積層された背面電極33を有する。透明電極32と背面電極33との間に電圧を印可することで、正負のキャリアが素子内に注入され、この再結合により有機層34内部でエレクトロルミネッセンスが発生する。35は有機層34内部で、励起された有機分子が基底状態に戻る際に光を放射する発光源であり、1分子程度のサイズである。発光源35は、無数に層状に分布している。これら無数の発光源35から放射されたルミネッセンス光は、直接、または素子内部での多重反射によって、透明電極32および基板31を介して観察者36の方向に放射される。

20

【0118】

本実施形態では、背面電極33と有機層34の界面と、発光源35の発光強度ピーク位置との光学距離、および透明電極32と基板31の界面と、発光源35の発光強度ピーク位置との光学距離は、素子内部でのすべての多重反射光を強め合うように選択されている。

【0119】

透明電極32としてインジウム錫酸化物(ITO)を用いている。透明電極32には、その他の透明な導電膜でもよい。

【0120】

透明電極32とガラス基板31のなす界面での電界振幅反射率 $r_1$ は、0.119と見積もられる。また、透明電極32と有機層34のなす界面での電界振幅反射率は、0.043であり、0.119に比べて小さいので無視する。ここで有機層28と背面電極27との間の電界振幅反射率 $r_2$ は、0.346である。この場合の $M_{\text{EL}}$ 及び $M_{\text{外光}}$ を計算すると、それぞれ、1.531、3.63%となる。 $r_2$ が0の場合には、 $M_{\text{EL}}$ が0.8程度であるため、約2倍程度EL発光強度の輝度が上昇することとなる。本実施形態において、 $M_{\text{EL}}$ を向上させるためには、表1および2より、 $r_1 \leq r_2$ であり、かつ $r_2$ が0.4以下であれば、外光強度反射率 $M_{\text{外光}} 10\%$ 以下の素子とすることが可能となる。

30

【0121】

本実施形態において、外光強度反射率 $M_{\text{外光}}$ を調整することにより、10%以下、特にほぼ0となる場合には、有機EL素子自体が無反射構造を持つ無反射体となることを意味する。このように、本実施形態では、発光層よりも観測者側に設けられた反射面と、観測者側から見て発光層よりも奥に形成された反射面を利用して、低反射構造、無反射構造を実現するものとなっている。

40

【0122】

(第2実施形態)

第1実施形態は、基板の方向にEL光を取り出す場合の例であったが、基板とは反対側の方向にEL光を取り出す、いわゆるトップエミッション型有機EL素子についても、上記考察結果はそのままあてはまる。図14はトップエミッション型有機EL素子を示す図である。以下、図14を参照しながら詳しく説明する。

【0123】

50

有機ＥＬ素子４０は、基板４１と、基板４１上に配置された背面電極４２と、背面電極４２上に順次積層された複数の積層体である有機層４４と、有機層４４に続いて積層された透明電極４３を有する。透明電極４３は、透過性金属と導電性酸化膜の積層体で構成されることもある。透明電極４３として、スパッタ成膜されたITOを用いた。

【０１２４】

ここで透明電極４３から空気にＥＬ光を取り出すときの $r_1$ は以下のように表される。

【０１２５】

$$r_1 = (n_{ITO} - n_{\text{空気}}) / (n_{ITO} + n_{\text{空気}})$$

$$= (1.93 - 1.0) / (1.93 + 1.0)$$

$$= 0.317$$

10

【０１２６】

このとき、背面（基板側）電極での電解振幅反射率 $r_2$ と強度反射率 $R_2$ と外光強度反射率 $M_{\text{外光}}$ とＥＬ光強度取り出し係数 $M_{EL}$ の関係を表４に示す。

【０１２７】

【表４】

$r_2$	$R_2$	$M_{\text{外光}}$	$M_{EL}$
0	0	0.100	0.407
0.317	0.100	0.0	1.00
0.575	0.331	0.100	1.73

20

【０１２８】

外光の強度反射率 $M_{\text{外光}}$ を１０％とする条件は、（式１４）を絶対値の符号に気をつけて解くことで得られ、 $R_2 = 0\%$ および３３．１％に相当する。このとき、 $R_1 \leq R_2$ なる請求項２に記載の条件を適用することで、ＥＬ光強度取り出し係数を１．７３とすることができる。これは、背面電極の強度反射率 $R_2 = 0$ の場合の４．２５倍である。

30

【０１２９】

（変形例）

トップエミッション型有機ＥＬデバイスにおいて、図１５のように、背面電極を透明導電膜と低反射性膜との積層構造体で構成してもよい。

すなわち、両方の電極を透過性としたいわゆる透過型有機ＥＬ素子において、取り出し側とは反対側の背面に吸収性の膜を塗布したような場合も、この面の反射率を $r_2$ として考えればよい。

40

【０１３０】

また、トップエミッション型有機ＥＬデバイスにおいて、図１６、図１７のように、光取り出し電極を透過性導電膜と反透過性膜との積層構造体で構成してもよい。式（１４）は、外光から見た第１の反射面ではエネルギーの吸収をゼロとした場合だが、さらに界面に吸収層を設け、 $t_1$ を $r_1$ とは別に調整することも出来る。

【０１３１】

例１に類するデバイス形態として、図１８のように、背面電極を透過性導電膜と低反射性膜の積層構造体で構成してもよい。

【０１３２】

また、図１９のように、背面または前面に反射面が複数存在するとき、ＥＬ発光源の位置

50



において、背面または前面に位置するすべての反射面からの反射光の合成光を反射光として定義し、そのときの電界振幅の変化を $r_1$ または $r_2$ として定義すればよい。

#### 【0133】

また、図20(a)に示すように、無反射体（低反射低透過率積層光学構造体）は、有機EL素子そのものであるような構造であってもよい。図20では、半透過性膜である透明電極51は、基材上に配置されている。透明電極51上には、少なくとも発光層を有する半透過性の有機EL層52が積層されている。そして、有機EL層52上には、反射性の背面電極53が配置されている。

#### 【0134】

本構成において、透明電極51、有機EL層52、及び背面電極53は、基材側から入射した外部光を各層間の界面での反射光との光学干渉により打ち消しあうように調整された無反射体である。このような有機EL素子において、外光強度反射率 $M_{外光}$ を10%以下にするように $r_1$ 、 $r_2$ を調整してもよい。

#### 【0135】

勿論、上記構造は、基材上に配置された電極51を反射性の背面電極とし、電極53を半透過性の透明電極とすることで、いわゆるトップエミッション型の構造の有機EL素子にも適用可能である。

#### 【0136】

このように、有機EL素子自体を無反射体として構成することにより、別途半透過性の光学部材や光学反射膜を設置する必要がないため、有機EL素子を薄膜化することが可能となる。また他の部材を設ける必要がないため、製造上のステップが簡略化され、製造効率が向上する。

#### 【0137】

また、図20(b)に示すように、無反射体（低反射低透過率積層光学構造体）が、有機EL素子の一部を含み、無反射体の一端が有機EL素子の一部で構成されるようにしてもよい。図20(b)では、透過性膜である透明電極61は、基材上に配置されている。透明電極61上には、少なくとも発光層を有する透過性の有機EL層62が積層されている。そして、有機EL層62の中には、電荷輸送性を有し且つ半透過性の光学反射膜63が挿入されている。有機EL層62上には、背面電極64が配置されている。

#### 【0138】

本構成において、光学反射膜63、背面電極64は、基材側から入射した外部光を各層間の界面での反射光との光学干渉により打ち消しあうように調整された無反射体である。この構造においては、基材と透明電極61間の界面での反射光、及び透明電極61と有機EL素子間の界面での反射光は微量であるため無視できるものとする。このような有機EL素子において、外光強度反射率 $M_{外光}$ を10%以下にするように $r_1$ 、 $r_2$ を調整してもよい。

#### 【0139】

このように、有機EL素子の一部を無反射体を含むように構成することにより、半透過性の光学部材や光学反射膜を設置数が減少し、有機EL素子を薄膜化することができ、製造上のステップが簡略化され、製造効率が向上する。

#### 【0140】

以上説明した有機ELディスプレイによれば、円偏光フィルターを用いることなく、有機ELディスプレイのコントラストを向上させながら、有機EL光の発光効率を高めることが出来る。また、上記構成により、有機層に流れる電流を低電流化した状態で、有機ELディスプレイの発光強度を高めることが可能となる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】有機ELディスプレイ内の有機EL素子の断面構造および有機EL素子内でのEL発光強度分布を示す図である。

【図2】内部発光点から放射された光の、素子内部での光学干渉について説明する図である。

10

20

30

40

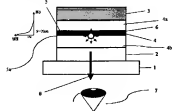
50

- 【図 3】有機 E L 素子構造を光学的に最適化する方法を示す図である。
- 【図 4】積層光学膜による無反射積層体を示す図である。
- 【図 5】アルミと有機物を有した無反射積層体の波長と反射率の関係を示す図である。
- 【図 6】無反射積層構造を有する例 1 の有機 E L 素子と無反射積層構造を有しない例 2 の有機 E L 素子の電圧－電流特性を示すグラフである。
- 【図 7】例 1 と例 2 の電流－輝度特性を示したグラフである。
- 【図 8】有機 E L ディスプレイの光学的モデルの模式図である。
- 【図 9】図 8 の構成において、素子内部から放射された光の多重反射と、素子外部へ取り出される光の電界振幅を表した図である。
- 【図 10】入射外光に関する有機 E L 素子での多重干渉現象の模式図である。 10
- 【図 11】(a) 及び (b) は、光の位相の反転状況を示す図である。
- 【図 12】輝度効率の分布と式 (9) による計算曲線を示す図である。
- 【図 13】本発明に係る第 1 実施形態の有機 E L 素子を示す図である。
- 【図 14】本発明に係る第 2 実施形態の有機 E L 素子を示す図である。
- 【図 15】本発明に係る変形例の有機 E L 素子を示す図である。
- 【図 16】本発明に係る変形例の有機 E L 素子を示す図である。
- 【図 17】本発明に係る変形例の有機 E L 素子を示す図である。
- 【図 18】本発明に係る変形例の有機 E L 素子を示す図である。
- 【図 19】本発明に係る変形例の有機 E L 素子を示す図である。
- 【図 20】(a) 及び (b) は、本発明に係る変形例の有機 E L 素子を示す図である。 20

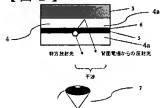
【符号の説明】

- 1, 3 1 基板
- 2, 3 2, 4 3, 5 1, 6 1 透明電極
- 3, 3 3, 4 2, 5 3, 6 4 背面電極
- 4, 3 4, 4 4, 5 2, 6 2 有機層
- 5 発光層
- 6, 3 5, 4 5 発光点
- 7, 3 6, 4 6 観察者
- 8 E L 光
- 9 a 第一前方放射光
- 9 b 第一後方反射光
- 1 1 背面反射面
- 1 2 前面反射面
- 1 3 ガラス基板
- 1 4 第一半透過層
- 1 5 第二半透過層
- 1 6 高反射層
- 1 8 a 第一半透過層反射光 1 8 a
- 1 8 b 高反射層反射光
- 1 9 背面反射部位
- 2 0 前面反射部位
- 2 2 a 入射外光
- 2 2 b 第一反射外光
- 2 2 c 第一透過外光
- 2 3 多重反射合成光
- 3 0, 4 0 有機 E L 素子
- 6 3 光学反射膜

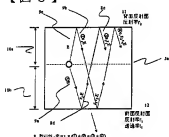
【図 1】



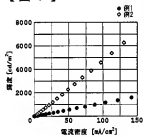
【図 2】



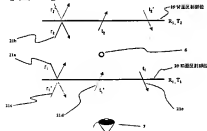
【図 3】



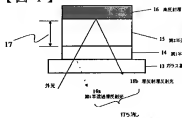
【図 7】



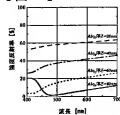
【図 8】



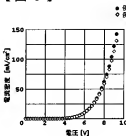
【図 4】



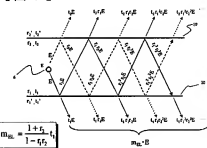
【図 5】



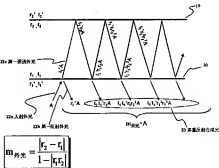
【図 6】



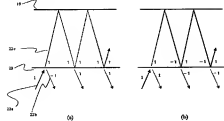
【図 9】



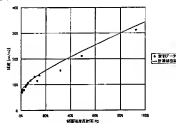
【図 10】



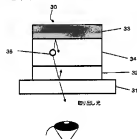
【図 11】



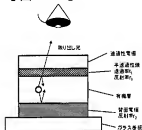
【図 12】



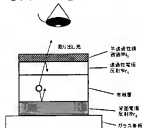
【図 13】



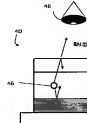
【図 16】



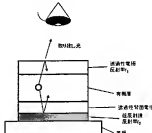
【図 17】



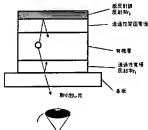
【図 14】



【図 15】



【図 18】



【図 19】



【図 20】

